



TUGAS AKHIR - TE 141599

**GABUNGAN METODE DETEKSI *ISLANDING*
BERDASARKAN PERGESERAN FREKUENSI AKTIF DAN
VARIASI AMPLITUDO TEGANGAN PADA SISTEM
PHOTOVOLTAIC TERHUBUNG KE JALA-JALA**

Septian Pramuditia Putra
NRP 2213100073

Dosen Pembimbing
Dedet Candra Riawan, S.T., M.Eng., Ph.D.
Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



FINAL PROJECT - TE 141599

**COMPOSITE ISLANDING DETECTION METHOD BASED
ON THE ACTIVE FREQUENCY DRIFT AND VOLTAGE
AMPLITUDE VARIATION FOR PHOTOVOLTAIC'S
SYSTEM GRID CONNECTED**

Septian Pramuditia Putra
NRP 2213100073

Advisors

Dedet Candra Riawan, S.T., M.Eng., Ph.D.
Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Electrical Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**Gabungan Metode Deteksi *Islanding* Berdasarkan Pergeseran Frekuensi Aktif dan Variasi Amplitudo Tegangan Pada Sistem *Photovoltaic* Terhubung Jala-jala**” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2017

Septian Pramuditia Putra
NRP. 2213100073

**GABUNGAN METODE DETEKSI ISLANDING
BERDASARKAN PERGESERAN FREKUENSI AKTIF
DAN VARIASI AMPLITUDO TEGANGAN PADA SISTEM
PHOTOVOLTAIC TERHUBUNG KE JALA-JALA**

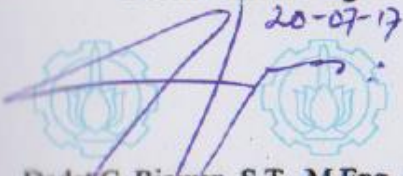
TUGAS AKHIR

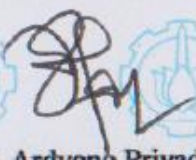
**Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II


Dedet C. Riawan, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 197311192000031001


Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.
NIP. 197309271998031004



GABUNGAN METODE DETEKSI *ISLANDING* BERDASARKAN PERGESERAN FREKUENSI AKTIF DAN VARIASI AMPLITUDO TEGANGAN PADA SISTEM *PHOTOVOLTAIC* TERHUBUNG KE JALA-JALA

Nama : Septian Pramuditia Putra
NRP : 2213100073
Dosen Pembimbing 1 : Dedet Candra Riawan, S.T., M.Eng., Ph.D.
Dosen Pembimbing 2 : Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng

ABSTRAK

Islanding merupakan fenomena terputusnya *grid* dari sistem *grid-connected distributed generation* (DG) namun DG tetap terhubung dengan sistem dan tetap menyalurkan daya ke beban. Hal ini dapat menyebabkan permasalahan antara lain turunnya kualitas daya, kerusakan pada peralatan dan bahaya bagi pihak pekerja. *Anti-islanding* merupakan metode untuk melakukan deteksi terjadinya fenomena *islanding* agar DG berhenti mengalirkan daya menuju beban. Namun terdapat kelemahan pada metode *anti-islanding* konvensional, yaitu apabila terjadi *islanding* dan tidak ada perbedaan nilai daya antara daya yang dihasilkan oleh DG dengan daya yang diserap oleh beban maka deteksi akan gagal dilakukan. Sehingga diperlukan metode yang dapat menutupi kelemahan tersebut.

Pada tugas akhir ini akan dilakukan simulasi gabungan metode deteksi *islanding* berdasarkan pergeseran frekuensi aktif dan variasi amplitudo tegangan. Penggunaan gabungan metode deteksi *islanding* bertujuan untuk melakukan deteksi baik dalam keadaan normal maupun keadaan khusus dimana tidak ada perbedaan nilai daya antara DG dengan beban. Hasil simulasi menunjukkan bahwa zona deteksi dari metode yang digunakan untuk beban linear dapat bekerja dengan rentang 0,9 *lagging* – 0,9 *leading* dan 0,4 kali daya nominal *photovoltaic* – 2,5 kali daya nominal *photovoltaic*.

Kata Kunci: Sistem *Photovoltaic* terhubung jala-jala, Pergeseran frekuensi aktif, *Detection Zone*

Halaman ini sengaja dikosongkan

COMPOSITE ISLANDING DETECTION METHOD BASED ON THE ACTIVE FREQUENCY DRIFT AND VOLTAGE AMPLITUDE VARIATION FOR PHOTOVOLTAIC'S SYSTEM GRID CONNECTED

Name : Septian Pramuditia Putra
NRP : 2213100073
Counsellor Lecturer 1 : Dedet Candra Riawan, S.T., M.Eng., Ph.D.
Counsellor Lecturer 2 : Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng

ABSTRACT

Islanding is phenomenon when grid disconnected from distributed generation (DG) system, but DG still connected to the system and still continue transfer energy to the load. This can cause problems such as power quality drops, equipment damage and hazards to workers. Anti-islanding is a method to detect the occurrence of islanding phenomenon so that DG stop flowing power to the load. However, there is a weakness in conventional anti-islanding methods, ie if islanding occurs and there is no difference in power value between power generated by DG with power absorbed by load then detection will fail. So that required method that can cover the weakness.

In this final project will be simulated aggregation method of islanding detection based on active frequency shift and voltage amplitude variation. The use of the combined method aims to perform detection in both normal and special circumstances where there is no difference in power value between DG and load. The simulation results show that the detection zone of the method used for linear loads can work with a range of 0.9 lagging - 0.9 leading and 0.4 times nominal photovoltaic power - 2.5 times nominal photovoltaic power.

Keywords: Photovoltaic's System Grid-Connected, Active Frequency Drift, Detection Zone

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Melalui kegiatan ini, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang bersifat penelitian ilmiah selama satu semester sebagai aplikasi ilmu serta persyaratan menyelesaikan Pendidikan Sarjana pada Studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Buku tugas akhir ini dapat terselesaikan atas bantuan banyak pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak saya Ismu Purwono, Ibu saya Aditia Wardhani, adik saya Mutia Devita Sari, Yunita Listiana Putri dan Naufal Pramuditia Putra, serta seluruh keluarga besar yang telah banyak memberikan dorongan dalam penyelesaian buku tugas akhir ini.
2. Bapak Dedet Candra Riawan, S.T., M.Eng., Ph.D. dan Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng. selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan masukan serta arahan sehingga buku tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.
3. Uly Rizki Sulistiyowati yang telah memberikan dukungan semangat untuk segera menyelesaikan tugas akhir.
4. Miftah Yama Fauzan, Anas Maulidi Utama dan Ainur Rachmat sebagai senior yang mengajarkan hal-hal dasar untuk tugas akhir ini.
5. “Kita Keren!”, “Ngompek” dan e53 yang telah menjadi keluarga terdekat saat kuliah.

Penulis pun memohon atas segala kekurangan pada Tugas Akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan informasi dan manfaat bagi mahasiswa Teknik Elektro ITS pada khususnya dan seluruh pembaca pada umumnya.

Surabaya, Juni 2017

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
PERNYATAAN KEASLIAN	
HALAMAN PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
CONTENTS	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	1
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Metodologi	2
1.6 Sistematika Penulisan	3
1.7 Relevansi	4

BAB 2 SISTEM *PHOTOVOLTAIC GRID-CONNECTED*

2.1 <i>Photovoltaic</i>	5
2.2 Topologi <i>Grid-Connected Inverter</i>	6
2.3 LC Filter	9
2.4 Fenomena <i>Islanding</i>	10
2.4.1 Daya DG > Daya Beban	10
2.4.2 Daya DG < Daya Beban	11
2.4.3 Daya DG = Daya Beban	12
2.5 Deteksi <i>Islanding</i>	12

BAB 3 PEMODELAN SISTEM *PHOTOVOLTAIC GRID-CONNECTED*

3.1 Konfigurasi Current Control Voltage Source Inverter Pada Sistem Photovoltaic Terhubung Grid	15
3.2 Pemodelan Sistem Photovoltaic	16
3.3 Pemodelan Current Control Voltage Source Inverter	16
3.3.1 Voltage Source Inverter	16

3.3.2 Linear Current Control	17
3.3.3 Phase Locked Loop	18
3.4 Pemodelan Filter LC	19
3.5 Pemodelan Beban Untuk Kondisi Islanding	20
3.6 Metode Anti-Islanding	24
3.6.1 Active Frequency Drift.....	24
3.6.2 Gabungan Metode Deteksi Islanding Berdasarkan Pergeseran Frekuensi Aktif dan Variasi Amplitudo Tegangan	25

BAB 4 SIMULASI DAN HASIL ANALISA ISLANDING

4.1 Pengujian Beban Resistif	29
4.1.1 Resistif <i>Undervoltage</i>	29
4.1.2 Resistif <i>Overvoltage</i>	30
4.1.3 Resistif <i>Powermatch</i>	30
4.2 Pengujian Beban Induktif.....	31
4.2.1 Induktif Cosphi 0,65	31
4.2.2 Induktif Cosphi 0,7	32
4.2.3 Induktif Cosphi 0,75	33
4.2.4 Induktif Cosphi 0,8	34
4.2.5 Induktif Cosphi 0,85	35
4.2.6 Induktif Cosphi 0,9	36
4.3 Pengujian Beban Kapasitif.....	37
4.3.1 Kapasitif Cosphi 0,65.....	37
4.3.2 Kapasitif Cosphi 0,7.....	38
4.3.3 Kapasitif Cosphi 0,75.....	39
4.3.4 Kapasitif Cosphi 0,8.....	40
4.3.5 Kapasitif Cosphi 0,85.....	41
4.3.6 Kapasitif Cosphi 0,9.....	42
4.4 Detection Zone.....	43

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan	45
5.2 Saran	45

DAFTAR PUSTAKA.....	47
LAMPIRAN	49
RIWAYAT HIDUP.....	63

CONTENTS

TITLE PAGE

STATEMENT OF AUTHENTICITY SHEET

CERTIFICATION SHEET

ABSTRACT (BAHASA).....	i
ABSTRACT.....	iii
PREFACE.....	v
CONTENTS (BAHASA)	vii
CONTENTS.....	ix
LIST OF FIGURES	xi
LIST OF TABLES	xiii

CHAPTER 1 INTRODUCTION

1.1 Background	1
1.2 Problems	1
1.3 Purpose	2
1.4 Scope of Problems	2
1.5 Methodology	2
1.6 Writing Systematics.....	3
1.7 Relevance	4

CHAPTER 2 GRID-CONNECTED PHOTOVOLTAIC'S SYSTEM

2.1 Photovoltaic	5
2.2 Grid-Connected Inverter Topology	6
2.3 LC Filter	9
2.4 Islanding Phenomenon	10
2.4.1 DG Power > Load Power.....	10
2.4.2 DG Power < Load Power.....	11
2.4.3 DG Power = Load Power.....	12
2.5 Islanding Detection.....	12

CHAPTER 3 GRID-CONNECTED PHOTOVOLTAIC SYSTEM MODEL

3.1 Current Control Voltage Source Inverter Configuration on Grid-Connected Photovoltaic System	15
3.2 Photovoltaic System Model.....	16
3.3 Current Control Voltage Source Inverter Model	16
3.3.1 Voltage Source Inverter.....	16

3.3.2 Linear Current Control	17
3.3.3 Phase Locked Loop	18
3.4 LC Filter Model	19
3.5 Load Model For Islanding Condition	20
3.6 Anti-Islanding Method	24
3.6.1 Active Frequency Drift.....	24
3.6.2 Composite Islanding Detection Method Based on the Active Frequency Drift and Voltage Amplitude Variation	25

CHAPTER 4 ISLANDING SIMULATION AND ANALYSIS

RESULT

4.1 Resistive Load Simulation	29
4.1.1 Undervoltage Resistive	29
4.1.2 Overvoltage Resistive	30
4.1.3 Powermatch Resistive	30
4.2 Inductive Load Simulation.....	31
4.2.1 Cosphi 0,65 Inductive	31
4.2.2 Cosphi 0,7 Inductive	32
4.2.3 Cosphi 0,75 Inductive	33
4.2.4 Cosphi 0,8 Inductive	34
4.2.5 Cosphi 0,85 Inductive	35
4.2.6 Cosphi 0,9 Inductive	36
4.3 Capacitive Load Simulation.....	37
4.3.1 Cosphi 0,65 Capacitive	37
4.3.2 Cosphi 0,7 Capacitive	38
4.3.3 Cosphi 0,75 Capacitive	39
4.3.4 Cosphi 0,8 Capacitive	40
4.3.5 Cosphi 0,85 Capacitive	41
4.3.6 Cosphi 0,9 Capacitive	42
4.4 Detection Zone.....	43

CHAPTER 5 INFERENCE

5.1 Conclusion.....	45
5.2 Suggestion.....	45

REFERENCES	47
-------------------------	-----------

ATTACHMENT	49
-------------------------	-----------

BIOGRAPHY.....	63
-----------------------	-----------

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Rangkaian ekuivalen satu sel <i>photovoltaic</i>	5
Gambar 2. 2 Kurva karakteristik P-V <i>photovoltaic</i> dengan beberapa variasi nilai iradian.....	6
Gambar 2. 3 Skema <i>voltage source inverter</i>	7
Gambar 2. 4 Metode pensaklaran spwm	8
Gambar 2. 5 Hasil modulasi spwm	8
Gambar 2. 6 Skema topologi <i>photovoltaic grid-connected</i>	9
Gambar 2. 7 Topologi filter LC	10
Gambar 2. 8 Fenomena <i>islanding</i> dan deteksinya untuk <i>overvoltage</i> , <i>overfrequency</i>	11
Gambar 2. 9 Fenomena <i>islanding</i> dan deteksinya untuk <i>undervoltage</i> . 12	
Gambar 2. 10 Skema deteksi <i>islanding</i>	13
 Gambar 3. 1 Topologi sistem <i>photovoltaic</i> terhubung <i>grid</i>	15
Gambar 3. 2 Diagram simulasi <i>voltage source inverter</i>	17
Gambar 3. 3 Alur <i>linear current control</i> pada gambar 3.2	17
Gambar 3. 4 Skema <i>phase locked loop</i> yang digunakan	18
Gambar 3. 5 Perbandingan berbagai nilai <i>damping ratio</i>	19
Gambar 3. 6 Dasar dari metode AFD.....	25
Gambar 3. 7 <i>Flowchart</i> alur yang digunakan.....	27
 Gambar 4. 1 Hasil simulasi beban resistif <i>undervoltage</i>	30
Gambar 4. 2 Hasil simulasi beban resistif <i>overvoltage</i>	30
Gambar 4. 3 Hasil simulasi beban resistif <i>powermatch</i>	31
Gambar 4. 4 Hasil simulasi beban induktif 0,65 <i>undervoltage</i>	31
Gambar 4. 5 Hasil simulasi beban induktif 0,65 <i>overvoltage</i>	32
Gambar 4. 6 Hasil simulasi beban induktif 0,7 <i>undervoltage</i>	32
Gambar 4. 7 Hasil simulasi beban induktif 0,7 <i>overvoltage</i>	33
Gambar 4. 8 Hasil simulasi beban induktif 0,75 <i>undervoltage</i>	33
Gambar 4. 9 Hasil simulasi beban induktif 0,75 <i>overvoltage</i>	34
Gambar 4. 10 Hasil simulasi beban induktif 0,8 <i>undervoltage</i>	34
Gambar 4. 11 Hasil simulasi beban induktif 0,8 <i>overvoltage</i>	35
Gambar 4. 12 Hasil simulasi beban induktif 0,85 <i>undervoltage</i>	35

Gambar 4. 13 Hasil simulasi beban induktif 0,85 *overvoltage*36

Gambar 4. 14 Hasil simulasi beban induktif 0,9 *undervoltage*36

Gambar 4. 15 Hasil simulasi beban induktif 0,9 *overvoltage*37

Gambar 4. 16 Hasil simulasi beban kapasitif 0,65 *undervoltage*37

Gambar 4. 17 Hasil simulasi beban kapasitif 0,65 *overvoltage*38

Gambar 4. 18 Hasil simulasi beban kapasitif 0,7 *undervoltage*38

Gambar 4. 19 Hasil simulasi beban kapasitif 0,7 *overvoltage*39

Gambar 4. 20 Hasil simulasi beban kapasitif 0,75 *undervoltage*39

Gambar 4. 21 Hasil simulasi beban kapasitif 0,75 *overvoltage*40

Gambar 4. 22 Hasil simulasi beban kapasitif 0,8 *undervoltage*40

Gambar 4. 23 Hasil simulasi beban kapasitif 0,8 *overvoltage*41

Gambar 4. 24 Hasil simulasi beban kapasitif 0,85 *undervoltage*41

Gambar 4. 25 Hasil simulasi beban kapasitif 0,85 *overvoltage*42

Gambar 4. 26 Hasil simulasi beban kapasitif 0,9 *undervoltage*42

Gambar 4. 27 Hasil simulasi beban kapasitif 0,9 *overvoltage*43

Gambar 4. 28 Hasil *detection zone*44

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kondisi pensaklaran inverter.....	7
Tabel 3. 1 Nilai RLC untuk fenomena powermatch berbagai $\cos\phi$	23
Tabel 3. 2 Nilai RLC untuk fenomena undervoltage 2,5x berbagai $\cos\phi$	24
Tabel 3. 3 Nilai RLC untuk fenomena overvoltage 2,5x berbagai $\cos\phi$	24

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Islanding merupakan fenomena terputusnya *grid* dari sistem *grid-connected* DG (*distributed generation*) namun DG tetap terhubung dengan sistem dan tetap menyalurkan daya ke beban[1] [2]. Hal ini dapat menyebabkan permasalahan antara lain turunnya kualitas daya, kerusakan pada peralatan dan bahaya bagi pihak pekerja[1] [2]. Fenomena *islanding* dapat diatasi dengan menggunakan suatu metode yang disebut metode *anti-islanding*. *Anti-islanding* merupakan metode untuk melakukan deteksi terjadinya fenomena *islanding* agar DG berhenti menghasilkan daya. Namun terdapat kelemahan pada metode *anti-islanding* konvensional, yaitu apabila terjadi *islanding* dan tidak ada perbedaan nilai daya antara daya yang dihasilkan oleh DG dengan daya yang diserap oleh beban maka deteksi akan gagal dilakukan[3]. Sehingga diperlukan metode yang dapat menutupi kelemahan tersebut. Metode gabungan deteksi *islanding* berdasarkan pergeseran frekuensi aktif dan variasi amplitudo tegangan dapat digunakan sebagai deteksi saat terjadi gangguan yang gagal dideteksi dengan metode *anti-islanding* konvensional, dimana deteksi akan dilakukan dengan melakukan deteksi utama dan deteksi tambahan saat terjadi persamaan nilai daya ketika *islanding* terjadi[3].

Dalam Tugas Akhir ini, akan dilakukan simulasi dan analisa metode gabungan deteksi *islanding* berdasarkan pergeseran frekuensi aktif dan variasi amplitudo tegangan pada sistem *photovoltaic* terhubung jala-jala dengan mempertimbangkan *current control voltage source inverter* sebagai pengatur besarnya nilai daya yang dihasilkan oleh DG untuk dialirkan menuju beban terhubung jala-jala[3].

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah gabungan metode deteksi *islanding* berdasarkan pergeseran frekuensi aktif dan variasi amplitudo tegangan pada sistem *photovoltaic* terhubung jala-jala dengan skema *current controlled voltage source inverter* sebagai pengatur nilai daya pada sistem *photovoltaic*.

1.3 Tujuan

Penelitian pada tugas akhir ini bertujuan sebagai berikut :

1. Mengetahui hal-hal yang berkaitan dengan *current control voltage source inverter* sebagai pengatur nilai daya pada sistem *photovoltaic*.
2. Menyajikan simulasi dan analisis gabungan metode deteksi *islanding* berdasarkan pergeseran frekuensi aktif dan variasi amplitudo tegangan pada sistem *photovoltaic* terhubung jala-jala.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada tugas akhir ini adalah :

1. *Current control voltage source inverter* menggunakan *phase locked loop* sederhana untuk sistem *grid connected*nya.
2. Rasio penurunan tegangan dari *point common coupling* menuju *phase locked loop* menggunakan pemodelan matematis sederhana.
3. Pemodelan *photovoltaic* yang telah dinaikkan tegangannya disederhanakan dengan menggunakan sumber DC konvensional dan hanya *watt support*.
4. Pemodelan beban hanya untuk beban linear.

1.5 Metodologi

Metodologi yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Studi Literatur

Penulis mempelajari mengenai berbagai skema *current controlled voltage source inverter* untuk sistem *photovoltaic grid connected* dari jurnal IEEE, beberapa buku literatur dan tugas akhir tentang elektronika daya.

2. Pengumpulan Data

Setelah dilakukan studi literatur, maka penulis melakukan pengumpulan data tentang parameter-parameter dan spesifikasi pada sistem *photovoltaic* seperti tegangan DC link, filter inverter, parameter pada *phase locked loop* dan parameter untuk penyalan saklar inverter.

3. Penentuan dan Simulasi Skema *Current Controlled Voltage Source Inverter*

Pada bagian ini akan dilakukan penentuan skema *current controlled voltage source inverter* untuk mengatur nilai daya keluaran dari *photovoltaic* yang akan disalurkan menuju beban. Setelah itu akan dilakukan perancangan skema untuk *current controlled voltage source inverter* yang terhubung jala-jala.

4. Simulasi Fenomena *Islanding*

Setelah menentukan skema *current controlled voltage source inverter* yang terhubung jala-jala maka dilakukan simulasi fenomena *islanding* untuk berbagai variasi sifat beban untuk dilakukan analisa sebagai metode deteksinya.

5. Simulasi Metode *Anti Islanding*

Setelah menganalisa metode deteksi penulis melakukan simulasi total gabungan metode deteksi berdasarkan pergeseran frekuensi aktif dan variasi amplitudo tegangan.

6. Analisis Data

Setelah menyelesaikan simulasi maka nantinya akan didapat hasil yang akan dianalisis. Data yang akan dianalisis adalah tegangan dan frekuensi yang muncul pada *point common coupling* pada saat terjadi fenomena *islanding* pada sistem dengan memperhitungkan pemodelan beban dengan berbagai variasi sifat beban.

7. Penulisan Buku Tugas Akhir

Setelah menyelesaikan simulasi gabungan metode deteksi *islanding* berdasarkan pergeseran frekuensi aktif dan variasi amplitudo tegangan pada sistem *photovoltaic* terhubung jala-jala maka akan dilakukan penulisan buku tugas akhir sebagai kesimpulan dari metodologi penelitian yang dilakukan.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini terbagi atas lima bagian yang dijelaskan sebagai berikut:

BAB 1 Pendahuluan

Bab ini berisikan penjelasan tentang latar belakang, permasalahan, tujuan, batasan masalah, metodologi, sistematika penulisan, dan relevansi tugas akhir ini.

BAB 2 Tinjauan Pustaka

Bab ini membahas mengenai dasar teori dari penelitian seperti sistem *photovoltaic* dan *current controlled voltage source inverter* untuk sistem *grid connected*.

BAB 3 Metodologi Penelitian

Bab ini membahas mengenai pemodelan *current controlled voltage source inverter* pada sistem *photovoltaic* terhubung jala-jala secara keseluruhan

dengan dampak dari fenomena *islanding* dan skema deteksinya.

BAB 4 Simulasi dan Analisis

Bab ini berisikan hasil simulasi dan analisis sistem *photovoltaic* terhubung jala-jala yang mengalami fenomena *islanding* beserta deteksinya pada berbagai variasi sifat beban.

BAB 5 Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisikan kesimpulan dari analisis yang dilakukan dan berisi tentang saran untuk pengembangan selanjutnya.

1.7 Relevansi

Hasil yang diperoleh diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Dapat menjadi referensi untuk mendesain skema *current controlled voltage source inverter* pada sistem *photovoltaic grid connected* dan deteksi *islanding*nya
2. Dapat menjadi referensi bagi mahasiswa lain yang akan mengambil tugas akhir yang berhubungan dengan *current controlled voltage source inverter* pada sistem *photovoltaic grid connected* dan deteksi *islanding*nya.

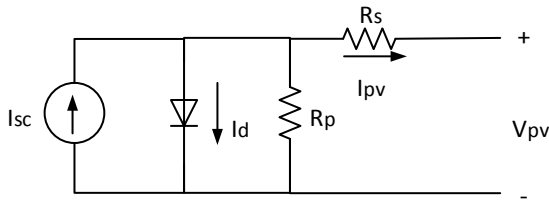
BAB 2

SISTEM PHOTOVOLTAIC GRID-CONNECTED

2.1 Photovoltaic

Photovoltaic (PV) adalah peralatan listrik yang berfungsi mengubah energi dari sinar matahari menjadi energi listrik yang termasuk dalam salah satu sumber energi terbarukan. Dalam aplikasi praktiknya, *photovoltaic* digunakan dalam jumlah sel yang cukup banyak karena karakteristik untuk satu sel *photovoltaic* hanya bernilai $\pm 0,6V$. Sel-sel pada *photovoltaic* dapat disusun secara seri dan paralel sesuai dengan yang diinginkan sehingga menjadi sebuah modul sel surya yang siap digunakan.

Dalam bentuk rangkaian ekuivalen, satu sel *photovoltaic* dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2. 1 Rangkaian ekuivalen satu sel *photovoltaic*

Keterangan:

I_{sc} = Arus hubung singkat

I_d = Arus dioda

R_s = Hambatan seri

R_p = Hambatan paralel

I_{pv} = Arus PV

V_{pv} = Tegangan PV

Dari rangkaian ekuivalen tersebut, besar arus yang dihasilkan dapat dinyatakan dalam persamaan (2.1) sebagai berikut :

$$I_{pv} = I_{sc} - I_o \left(\exp \left[\frac{q \cdot V_d}{k \cdot T} \right] - 1 \right) - \left(\frac{V_d}{R_p} \right) \quad (2.1)$$

Keterangan:

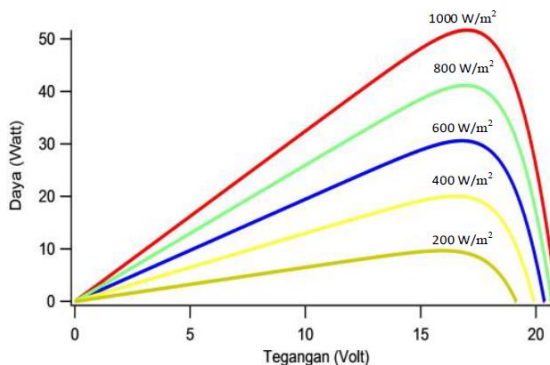
q = Muatan elektron $(1,602 \times 10^{-19} \text{ C})$

- k = Konstanta Boltzman ($1,381 \times 10^{-23} \text{ J}^\circ\text{K}$)
 T = *Junction Temperature* ($^\circ\text{K}$)
 I_o = *Reverse saturation current of p-n junction (diode)*
 V_d = Tegangan dioda (V)

Dari persamaan (2.1) diketahui bila suhu antar *junction* dapat mempengaruhi besarnya nilai output yang dihasilkan oleh *photovoltaic* dengan pola apabila suhu semakin tinggi maka arus yang dihasilkan akan semakin kecil dan daya yang dihasilkan juga semakin kecil. Lalu arus dan daya keluaran pada *photovoltaic* juga sangat dipengaruhi oleh iradian matahari. Iradian matahari sangat berperan penting pada nilai arus hubung singkat *photovoltaic* yang merupakan perkalian dari iradian matahari dengan kerapatan arus (J) yang dapat ditulis secara matematis sesuai persamaan (2.2).

$$I_{sc} = J \cdot I \quad (2.2)$$

Dari persamaan (2.2) dapat disimpulkan bahwa daya keluaran dari *photovoltaic* akan tinggi saat iradian matahari tinggi pula. Apabila diplot dalam bentuk grafik dengan berbagai varian nilai iradian, kurva karakteristik P-V pada *photovoltaic* dengan suhu konstan 25°C dapat digambarkan sebagai berikut :

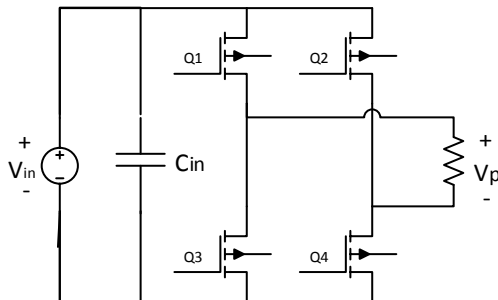


Gambar 2. 2 Kurva karakteristik P-V *photovoltaic* dengan beberapa variasi nilai iradian

2.2 Topologi *Grid-Connected Inveter*

Sistem *photovoltaic* adalah sistem yang outputnya berupa sinyal DC. Untuk mengintegrasikan sebuah sistem *photovoltaic* dengan *grid* yang berupa sinyal AC, maka output dari sistem *photovoltaic* harus diubah

bentuknya dari DC menjadi AC. *Inverter* merupakan peralatan elektronik yang berfungsi mengubah sinyal DC menjadi AC melalui sebuah metode pensaklaran. Menurut pensaklarannya, *inverter* dapat dibagi menjadi dua yaitu : *halfwave* dan *fullwave inverter*. Sedangkan berdasarkan media penyimpanan sementara, *inverter* dapat dibagi menjadi dua, yakni *current source inverter* dan *voltage source inverter*. *Voltage source inverter* adalah jenis *inverter* yang menggunakan kapasitor sebagai media penyimpanan sementara untuk kemudian akan dihubungkan dengan rangkaian pensaklaran. Sedangkan *current source inverter* menggunakan induktor sebagai *link* penghubung antara sumber dengan rangkaian pensaklaran.



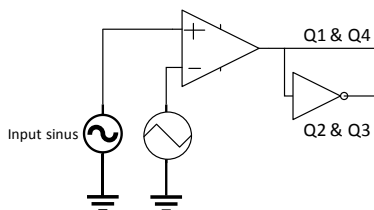
Gambar 2. 3 Skema *voltage source inverter*

Tegangan input *inverter* (V_{in}) berasal dari output sistem *photovoltaic*, sedangkan tegangan outputnya akan disalurkan menuju beban atau menuju *grid* secara langsung. Untuk *inverter* satu fasa digunakan empat buah saklar untuk mengubah sumber DC menjadi AC dengan kondisi penyalan seperti pada tabel 2.1.

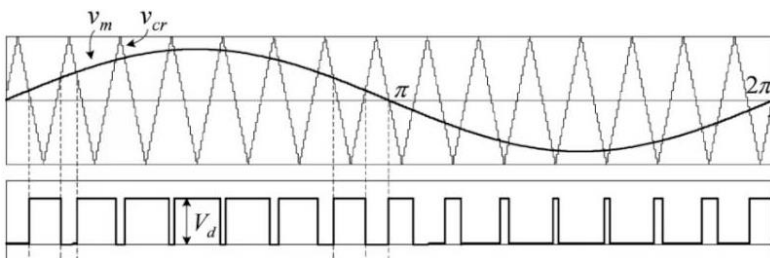
Tabel 2. 1 Kondisi pensaklaran *inverter*

No.	Kondisi (ON)	Tegangan Output
1	Q1 dan Q4	$+V_{in}$
2	Q2 dan Q3	$-V_{in}$

Untuk menghasilkan sinyal *output inverter* berupa AC sinusoidal maka metode pensaklaran yang digunakan adalah metode *Sine Pulse Width Modulation* (SPWM). Metode SPWM adalah metode yang menggunakan referensi berupa sinyal segitiga dan sinyal sinus sebagai *inputnya*. *Output* dari SPWM adalah sinyal kotak yang memiliki lebar pulsa berbeda-beda. Lebar yang berbeda-beda itu yang merepresentasikan dari bentuk gelombang sinus.



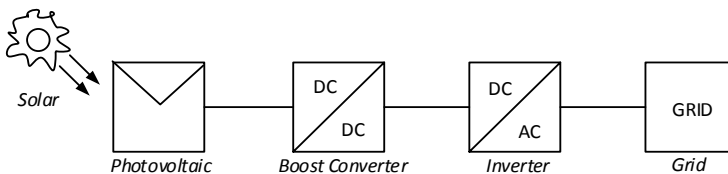
Gambar 2. 4 Metode pensaklaran spwm



Gambar 2. 5 Hasil modulasi spwm

Secara garis besar, topologi untuk sistem *photovoltaic* terhubung *grid* memiliki dua peralatan penting yaitu *boost converter* dan *inverter* sesuai gambar 2.6. *Boost converter* dibutuhkan karena output dari sebuah modul *photovoltaic* konvensional hanya bernilai $\pm 17,6V$ DC pada saat *maximum power pointnya* sedangkan tegangan *grid* PLN standard adalah $220V_{rms}$ sehingga dibutuhkan penaik tegangan agar syarat interkoneksi tercapai. Setelah tegangan output sistem *photovoltaic* diboosting, maka tegangan tersebut harus diubah dari DC menjadi AC untuk terhubung dengan *grid* menggunakan *grid-connected inverter*. Berbeda dari *inverter* konvensional, *grid-connecter inverter* merupakan *inverter* yang dapat

digunakan untuk mengatur arus yang ingin disalurkan menuju beban atau *grid* secara langsung. *Grid-connected inverter* sendiri memiliki beberapa bagian antara lain *voltage* atau *current source inverter* yang merupakan jenis *inverter* yang ingin digunakan, *linear current control* sebagai metode untuk mengatur besar arus yang ingin *disupply* dan *phase locked loop* sebagai sistem konfigurasi *inverter* terhadap frekuensi *grid* yang terhubung.

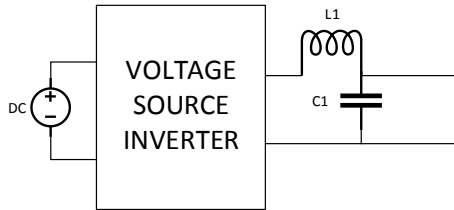


Gambar 2. 6 Skema topologi *photovoltaic grid-connected*

2.3 LC Filter

Sistem DG pasti membutuhkan peralatan elektronika daya untuk mengubah sinyal DC menjadi AC untuk terkoneksi dengan *grid*. Maka dibutuhkan suatu *inverter* yang akan dipasang sebagai penyambung antara DG dan *grid*. Namun efek dari penyalaan *inverter* ini akan mengakibatkan munculnya harmonisa yang akan mengalir ke beban dan juga menuju *grid*. Harmonisa ini akan menyebabkan berbagai permasalahan antara lain kesalahan dalam pembacaan parameter, timbulnya panas pada peralatan yang dapat menyebabkan kerusakan dan juga menurunkan kualitas daya listrik yang dihasilkan. Karena itu dibutuhkan suatu filter yang dapat meredam harmonisa yang muncul dan memperbaiki kualitas daya pada arus dan tegangan. Filter LC merupakan filter khusus yang digunakan untuk meredam harmonisa pada sistem *photovoltaic* yang terhubung langsung dengan *grid*.

Filter LC merupakan filter orde kedua yang memiliki atenuasi bernilai 12 db/dec dengan konfigurasi yang mudah dan dapat bekerja hampir tanpa masalah[5].



Gambar 2. 7 Topologi filter LC

2.4 Fenomena Islanding

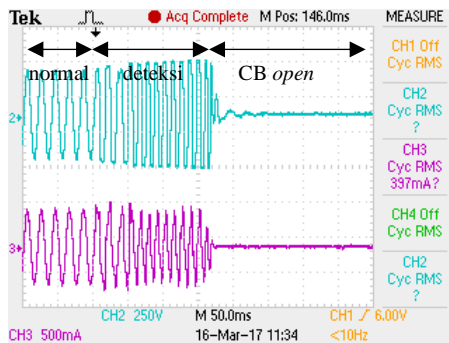
Islanding merupakan fenomena terputusnya *grid* dari sistem *grid-connected* DG namun DG tetap terhubung dan tetap menyalurkan daya ke beban. Hal ini menyebabkan permasalahan antara lain turunnya kualitas daya, kerusakan pada peralatan dan bahaya bagi pihak pekerja. Sesuai dengan standard IEEE 929-1988 dan IEEE 1547-2003, DG harus berhenti beroperasi maksimal 2 detik setelah deteksi *islanding* terjadi.

Dampak yang dapat diamati apabila terjadi fenomena *islanding* antara lain berubahnya nilai frekuensi sistem, tegangan dan juga arus yang mengalir menuju beban. Dari tiga hal tersebut, fenomena *islanding* dapat diklasifikasikan berdasarkan perbedaan nilai daya aktif dan reaktif antara DG dengan beban menjadi beberapa kondisi.

2.4.1 Daya DG > Daya Beban

Saat *grid* terputus dari sistem dan DG memiliki nilai daya yang lebih besar daripada daya yang diserap oleh beban, maka dapat terjadi dua kondisi *islanding* pada *point common coupling* yaitu kenaikan tegangan dan atau kenaikan frekuensi.

Kenaikan tegangan terjadi bila daya aktif DG lebih besar dari daya aktif yang diserap oleh beban. Hal ini dikarenakan saat arus yang diserap oleh beban tetap, daya yang *disupply* oleh DG lebih besar dari yang diserap beban sehingga konversi dayanya mengakibatkan tegangan menjadi naik. Sedangkan kenaikan frekuensi terjadi bila daya reaktif DG lebih besar dari daya reaktif yang diserap oleh beban. Hal ini terjadi saat beban bersifat *induktif* dimana beban tersebut membutuhkan *supply* reaktif baik itu dari sistem DG yang memiliki VAR *support* atau langsung dari *grid*. Saat *grid* terputus, DG akan dipaksa untuk mensupply daya reaktif yang mengakibatkan frekuensi sistem naik.

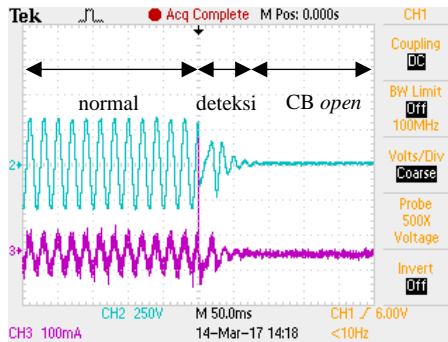


Gambar 2. 8 Fenomena *islanding* dan deteksinya untuk *overvoltage*, *overfrequency*

2.4.2 Daya DG < Daya Beban

Saat *grid* terputus dari sistem dan DG memiliki nilai daya yang lebih kecil daripada daya yang diserap oleh beban, maka dapat terjadi dua kondisi *islanding* pada *point common coupling* yaitu penurunan tegangan dan atau penurunan frekuensi.

Penurunan tegangan terjadi bila daya aktif DG lebih kecil dari daya aktif yang diserap oleh beban. Hal ini dikarenakan saat arus yang diserap oleh beban tetap, daya yang *disupply* oleh DG lebih kecil dari yang diserap beban sehingga konversi dayanya mengakibatkan tegangan menjadi turun. Sedangkan penurunan frekuensi terjadi bila daya reaktif DG lebih kecil dari daya reaktif yang diserap oleh beban. Hal ini terjadi saat beban bersifat *kapasitif* dimana beban tersebut menjadi sebuah *supply* reaktif. Saat *grid* terputus, DG seolah-olah akan menjadi beban yang menyerap daya reaktif sehingga frekuensi sistem turun.



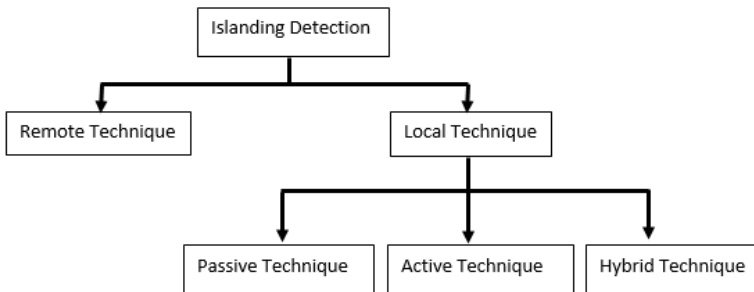
Gambar 2. 9 Fenomena *islanding* dan deteksinya untuk *undervoltage*

2.4.3 Daya DG = Daya Beban

Saat *grid* terputus dari sistem dan DG mempunyai output daya yang hampir atau bernilai sama dengan daya yang diserap oleh beban, maka pada *point common coupling* tidak akan terjadi kekurangan atau kenaikan tegangan begitu juga perubahan frekuensi yang terjadi tidak signifikan. Fenomena ini dinamakan *power match*. Fenomena ini merupakan fenomena khusus dimana deteksi *islanding* tegangan sederhana akan gagal mendeteksi terjadinya fenomena *islanding* sehingga diperlukan algoritma yang lebih spesifik untuk melakukan deteksi perubahan frekuensi dalam rentang yang lebih akurat.

2.5 Deteksi Islanding

Anti-islanding merupakan metode untuk melakukan deteksi terjadinya fenomena *islanding* dengan memonitoring parameter *output* DG dan atau parameter sistem agar DG berhenti beroperasi[4]. Tujuan dari metode deteksi *islanding* adalah menciptakan parameter *Non Detection Zone* (NDZ) dengan nilai seminimal mungkin[1] [2] [4]. *Non detection zone* adalah kurva daerah dimana deteksi *islanding* tidak dapat dilakukan. Semakin kecil luas daerah *non detection zone* maka semakin akurat suatu deteksi *islanding* dilakukan. Skema deteksi *islanding* dapat diklasifikasikan sebagai berikut[4] :



Gambar 2. 10 Skema deteksi *islanding*

Remote technique merupakan teknik deteksi *islanding* yang menggunakan parameter pada hubungan komunikasi antara *grid* dengan DG[4]. Kelebihan dari *remote technique* adalah realibilitas yang tinggi karena interval waktu kerja dari *supervisory control and data acquisition* (SCADA) relatif cepat dan terintegrasi dengan sistem namun implementasi untuk sistem yang tergolong skala kecil akan bernilai relatif mahal.

Passive technique merupakan teknik deteksi *islanding* yang menggunakan parameter yang ada pada sistem seperti tegangan, frekuensi, THD, dan lain-lain[4]. Teknik ini memerlukan *setting thresholds* yang tepat untuk membedakan gangguan *islanding* atau gangguan lain yang terdeteksi nantinya. Kelebihan *passive technique* antara lain, yakni waktu deteksinya relatif singkat, tidak mengganggu kinerja sistem, dan deteksinya sangat akurat saat terjadi perbedaan nilai daya dari DG dan daya pada beban yang sangat besar. Namun saat tidak terjadi perbedaan nilai daya dari DG dan daya pada beban saat *islanding* terjadi, teknik ini akan gagal melakukan deteksi.

Active technique merupakan teknik deteksi *islanding* dengan memberikan sedikit gangguan pada sistem yang berakibat berubahnya nilai parameter pada DG saat terjadi *islanding* sangat signifikan[4]. Kelebihan dari *active technique* yaitu dapat melakukan deteksi saat terjadi persamaan nilai daya dari DG dengan daya dari beban saat *islanding* terjadi. Namun gangguan yang diberikan akan mempengaruhi sistem dan waktu deteksi yang dilakukan menjadi lebih lama.

Sedangkan untuk *Hybrid Technique*, merupakan teknik deteksi yang mengimplementasikan *passive technique* dan *active technique* bersamaan dimana *active technique* hanya akan bekerja saat *passive technique* tidak mendeteksi adanya *islanding*[4]. Kelebihan dari *hybrid technique* yaitu mempunyai nilai *non-detection zone* (NDZ) yang kecil karena akurasi dari teknik ini merupakan gabungan dari *passive technique* dan *active technique* namun waktu yang dibutuhkan untuk melakukan deteksi juga meningkat.

BAB 3

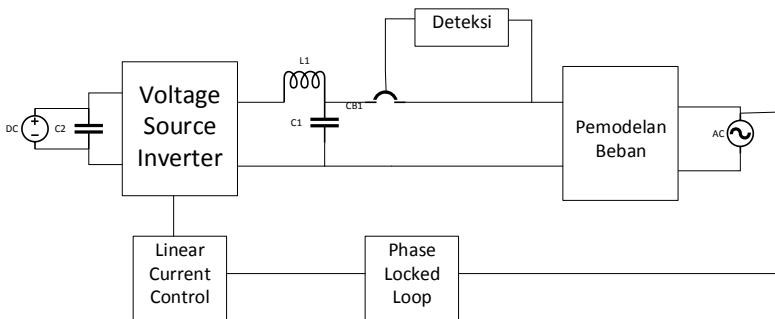
PEMODELAN SISTEM *PHOTOVOLTAIC GRID-CONNECTED*

3.1 Konfigurasi *Current Control Voltage Source Inverter* Pada Sistem *Photovoltaic Terhubung Grid*

Pada sistem *photovoltaic* terhubung *grid*, *inverter* yang digunakan akan memiliki cara kerja yang lebih spesifik dibandingkan dengan *inverter* konvensional. *Inverter* diharuskan dapat mengatur berapa daya yang akan disupply oleh sistem *photovoltaic* untuk dialirkan menuju *grid* atau beban menggunakan metode *linear current control*. Pada tugas akhir ini, *inverter* yang digunakan berupa *voltage source inverter* dimana sumber dari inverternya berupa sumber tegangan.

Agar tegangan dan arus hasil *inverting* mempunyai kualitas listrik yang bagus, maka pada tugas akhir ini akan ditambahkan filter LC untuk terhubung *grid* agar tegangan dan arus hasil *inverting* mendekati ideal. Untuk sinkronisasi fasa tegangan yang dihasilkan oleh sistem *photovoltaic* sama dengan tegangan *grid*, maka ditambahkan pula *phase locked loop* yang berguna untuk mengunci frekuensi *grid* yang akan dijadikan referensi penyalan *inverter* sebelum masuk ke *linear current control*.

Sedangkan untuk melakukan deteksi fenomena *islanding*, pada *point common coupling* ditambahkan pemodelan *zero crossing detector* agar dapat dilakukan perhitungan frekuensi dan juga tegangan tiap saat sebagai parameter deteksi *islanding*nya.



Gambar 3. 1 Topologi sistem *photovoltaic* terhubung *grid*

3.2 Pemodelan Sistem *Photovoltaic*

Pemodelan sistem *photovoltaic* akan dimodelkan menggunakan sumber dc sebagai representasi dari modul *photovoltaic* yang telah dinaikkan tegangannya. Pemodelan sistem *photovoltaic* yang telah dinaikkan tegangannya ini akan menjadi sumber dari *voltage source inverter* satu fasa dengan empat saklar yang akan menjadi pengatur besarnya arus yang akan disalurkan menuju *grid* ataupun beban.

Untuk mendapatkan nilai tegangan dc yang stabil maka nilai indeks modulasi *inverter* harus berada pada interval nilai $0 \leq m \leq 1$. Dengan menentukan tegangan DC *link* sebesar 800 Volt maka didapat nilai m sebagai berikut:

$$m = \frac{2xV_{LN}}{V_{dc}} \quad (3.1)$$

$$m = \frac{2x220}{800} = 0,55$$

Dengan nilai indeks modulasi tersebut, nilai dari puncak sinyal tegangan segitiga yang menjadi referensi pada penyalan saklar *inverter* dapat dicari menggunakan persamaan (3.2) dimana nilai input dari puncak sinus yang merupakan *output* dari *phase locked loop* bernilai tetap sebesar $\sqrt{2}$ Volt.

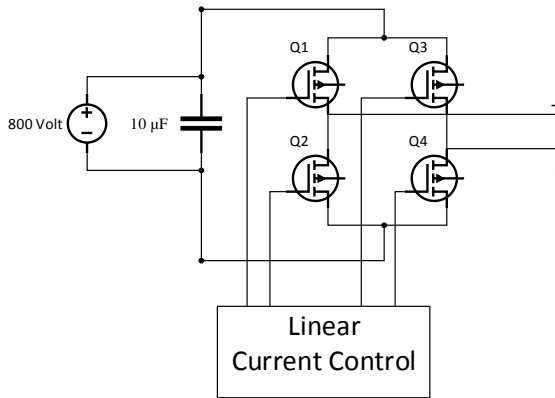
$$m = \frac{A_{sinus}}{A_{segitiga}} \quad (3.2)$$

$$A_{segitiga} = \frac{\sqrt{2}}{0,55} = 2,57129.. \approx 2,57 \text{ Volt}$$

3.3 Pemodelan *Current Control Voltage Source Inverter*

3.3.1 *Voltage Source Inverter*

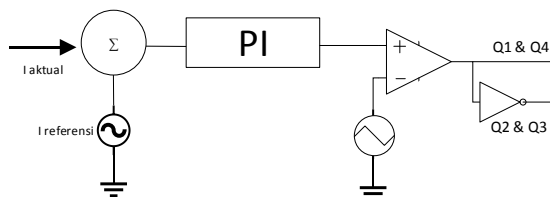
Jenis *inverter* yang akan digunakan pada simulasi adalah *voltage source inverter*. Untuk pemodelannya, sumber DC *voltage source inverter* bernilai 800 Volt sesuai dengan perhitungan persamaan (3.1) dan kapasitor bernilai 10 μ F. Input dari empat saklar *voltage source inverter* berasal dari *output linear current control*.



Gambar 3. 2 Diagram simulasi *voltage source inverter*

3.3.2 *Linear Current Control*

Linear current control pada voltage source inverter merupakan salah satu metode untuk mengatur nilai arus yang akan menjadi output suatu inverter sesuai dengan nilai yang diinginkan. *Linear current control* merupakan metode yang menggunakan kontroler PI sebagai faktor koreksinya. *Linear current control* bekerja dengan membandingkan sinyal referensi dengan sinyal terukur / aktual pada *output inverter*. Kemudian akan menghasilkan sinyal *output* kontroler PI yang akan dimodulasikan dengan sinyal segitiga yang mempunyai nilai indeks modulasi tertentu sesuai dengan persamaan (3.2) untuk menghasilkan tegangan dc *link* yang stabil. Hasil modulasi tersebut akan digunakan untuk pensaklaran *inverter*.



Gambar 3. 3 Alur *linear current control* pada gambar 3.2

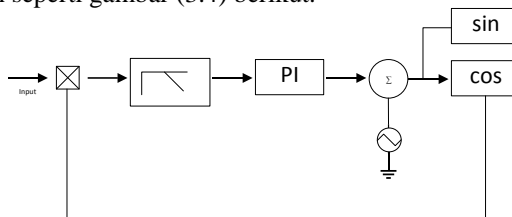
Pada *software* yang digunakan untuk simulasi Tugas Akhir ini komponen *PI controller* membutuhkan dua parameter yaitu *gain* dan *time constant*. Untuk desain simulasinya, *gain* akan diberi nilai 1 yang

berarti tidak terjadi penguatan antara *input* dan *output* dari *PI controller* dan *time constant* bernilai 0,01 untuk mendapat respon sistem yang lebih cepat.

3.3.3 Phase Locked Loop

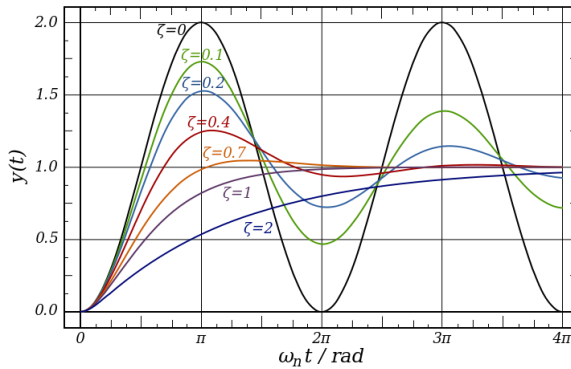
Phase locked loop merupakan rangkaian elektronika yang berfungsi untuk menyelaraskan tegangan *output* agar sesuai dengan tegangan *input* dengan berbagai kondisi *noise*. *Phase locked loop* ini berguna agar frekuensi kontrol untuk peralatan elektronika tetap sinkron dengan frekuensi yang terjadi di jala-jala. *Phase locked loop* terdiri dari tiga komponen utama yaitu *phase detector*, *loop filter* (*low pass filter*) dan *voltage control oscillator*. *Phase detector* berfungsi sebagai deteksi frekuensi yang akan diproses sebagai input untuk dihitung erornya. *Loop filter* atau *low pass filter* berfungsi untuk memfilter *noise* yang terjadi agar sinyal yang diproses lebih akurat. *Voltage control oscillator* berfungsi untuk membangkitkan sinyal *output* hasil proses *phase locked loop* untuk dijadikan *output* rangkaian *phase locked loop* menuju rangkaian kontrol dan juga sebagai referensi proses koreksi berikutnya.

Pada Tugas Akhir ini akan digunakan *phase locked loop* dengan pemodelan seperti gambar (3.4) berikut.



Gambar 3. 4 Skema *phase locked loop* yang digunakan

Pada *software* yang digunakan untuk Tugas Akhir ini parameter untuk *block low pass filter* adalah *gain*, *cut-off frequency* dan *damping ratio*. *Gain* yang digunakan untuk simulasi bernilai 1 yang berarti tidak ada perubahan nilai amplitudo dari sinyal *input* dan *output* dari *low pass filter*, untuk *cut-off frequency* dipilih nilai 40 Hz dan untuk *damping ratio* dipilih nilai 0,7. Nilai 0,7 merupakan nilai yang memiliki respon sinyal paling akurat karena nilai ini merupakan titik dimana filter mengalami *critically damped* sehingga waktu untuk mengalami *steady state* relatif cepat sesuai dengan gambar (3.5) berikut.



Gambar 3. 5 Perbandingan berbagai nilai *damping ratio*

Lalu parameter untuk *block PI controller* diatur untuk mempunyai nilai *gain* bernilai 50 dan *time constant* bernilai 0,005. Sumber sinyal segitiga berfungsi sebagai pembangkit sinyal yang akan dijumlahkan dengan error dari *output PI controller* yang kemudian akan dijadikan sebagai *output* rangkaian *phase locked loop*. Pada *software* yang digunakan, untuk sumber segitiga memiliki parameter tegangan *peak-to-peak* yang akan diberi nilai 360 Volt, frekuensi kerja dengan nilai 50 Hz, *duty cycle* dengan nilai 1 dan *DC offset* dengan nilai 0. *Block* sinus akan melinearkan bentuk gelombang segitiga dengan puncak bernilai 360 Volt ditambah dengan error dari PI menjadi bentuk AC sinus dengan frekuensi sesuai dengan frekuensi sumber segitiga dan amplitudo bernilai 1. Sedangkan *block* cosinus akan berfungsi sebagai *inner loop* untuk proses berikutnya. Output dari *block* sinus tersebut akan menjadi input dari proses *linear current control*.

3.4 Pemodelan Filter LC

Desain dari pemodelan filter LC akan mempertimbangkan beberapa parameter desain sistem antara lain[5] [6]:

- Daya *inverter* (P) (2200 Watt)
- Tegangan *grid* (V_g) (220 V)
- Tegangan *DC link* (V_{dc}) (800 V)
- Frekuensi sistem (f) (50 Hz)
- Frekuensi *switching* (f_s) (10 kHz)

Dari kelima parameter tersebut, perhitungan nilai induktor dan kapasitor dapat dituliskan matematis sesuai persamaan berikut:

$$\omega_n = 2 \times \pi \times f \quad (3.3)$$

$$\omega_n = 2 \times \pi \times 50 = 100\pi$$

$$Z_b = \frac{V_g^2}{P} \quad (3.4)$$

$$Z_b = \frac{220^2}{2200} = 22 \Omega$$

$$C_b = \frac{1}{2 \times \pi \times f \times Z_b} \quad (3.5)$$

$$C_b = \frac{1}{100\pi \times 22} \approx 1,447 \mu F$$

$$\Delta I_{max} = 0.1 \times \left(\frac{P \sqrt{2}}{V_g} \right) \quad (3.6)$$

$$\Delta I_{max} = 0.1 \times \left(\frac{2200 \sqrt{2}}{220} \right) = \sqrt{2} A$$

$$L_i = \frac{V_{dc}}{8 \times 0.2 f_s \times \Delta I_{max}} \quad (3.7)$$

$$L_i = \frac{800}{8 \times 2000 \times \sqrt{2}} \approx 141,42 \text{ mH}$$

$$C_f = 0,05 \times C_b \quad (3.8)$$

$$C_f = 0,05 \times 1,447 \mu = 7,231 \mu F$$

Dari hasil perhitungan tersebut maka didapat nilai induktor sebagai filter inverter sebesar 141,42 mH dan kapasitor sebagai filter tegangan sebesar 7,231 μF .

3.5 Pemodelan Beban Untuk Kondisi *Islanding*

Untuk melakukan perhitungan pemodelan beban untuk beberapa kondisi *islanding*, ditentukan untuk kondisi *undervoltage* akan bernilai 2,5x lebih kecil dan untuk kondisi *overvoltage* bernilai 2,5x lebih besar. Sedangkan untuk fenomena *underfrequency* dan *overfrequency* akan dilakukan pemodelan beban dengan berbagai nilai cosphi dengan rentang cosphi 0,65 – 0,9 yang akan mempengaruhi besarnya nilai daya reaktif beban. Beban akan berupa beban linear dengan komposisi resistor, induktor dan kapasitor (RLC) yang dapat diatur agar bersifat resistif, induktif ataupun kapasitif.

Beberapa parameter konstan seperti tegangan, arus dan daya aktif *output inverter* didapat dari hasil simulasi saat tidak berbeban dan

langsung terhubung dengan jala-jala. Nilai parameter tersebut dapat ditulis sebagai berikut:

- $V = 220 \text{ Volt}$
- $I = 10 \text{ Ampere}$
- $P = 2200 \text{ Watt}$
- Perhitungan fenomena *powermatch*

Untuk fenomena *powermatch*, daya aktif dari *photovoltaic* akan bernilai sama dengan daya aktif yang diserap oleh beban dengan berbagai variasi nilai $\cos\phi$ dan berbagai sifat beban. Perhitungan dapat dilakukan sebagai berikut:

$$P_{pv} = P \text{ beban} \quad (3.9)$$

$$P_{pv} = 2200 \text{ Watt}$$

$$\cos\phi = 0,65$$

$$S = \frac{P}{\cos\phi} \quad (3.10)$$

$$S = \frac{2200}{0,65} = 3384,62 \text{ VA}$$

$$Q = S \times \sin(\cos^{-1} \phi) \quad (3.11)$$

$$Q = 3384,62 \times \sin(\cos^{-1} 0,65) = 2572,1 \text{ VAR}$$

$$P = \frac{V_{pcc}^2}{R} \quad (3.12)$$

$$R = \frac{V_{pcc}^2}{P}$$

$$R = \frac{220^2}{2200} = 22 \Omega$$

$$Q = \frac{V_{pcc}^2}{X} \quad (3.13)$$

$$X = \frac{V_{pcc}^2}{Q}$$

$$X = \frac{220^2}{2572,1} = 18,82 \Omega$$

Untuk induktif murni ($X = XL$)

$$X = 2 \times \pi \times f \times L \quad (3.14)$$

$$L = \frac{X}{2 \times \pi \times f}$$

$$L = \frac{18,82}{2 \times \pi \times 50} = 60 \text{ mH}$$

Untuk kapasitif murni ($X = XC$)

$$X = \frac{1}{2 \times \pi \times f \times C} \quad (3.15)$$

$$C = \frac{1}{2 \times \pi \times f \times X}$$

$$C = \frac{1}{2 \times \pi \times 50 \times 18,82} = 169,13 \mu F$$

- Perhitungan fenomena undervoltage

$$P_{pv} = \frac{P_{beban}}{2,5} \quad (3.16)$$

$$P_{pv} = 880 \text{ Watt}$$

$$\cos\phi = 0,65$$

$$S = \frac{P}{\cos\phi} \quad (3.17)$$

$$S = \frac{880}{0,65} = 1353,85 \text{ VA}$$

$$Q = S \times \sin(\cos^{-1} \phi) \quad (3.18)$$

$$Q = 1353,85 \times \sin(\cos^{-1} 0,65) = 1028,84 \text{ VAR}$$

$$P = \frac{V_{pcc}^2}{R} \quad (3.19)$$

$$R = \frac{V_{pcc}^2}{P}$$

$$R = \frac{220^2}{880} = 550 \Omega$$

$$Q = \frac{V_{pcc}^2}{X} \quad (3.20)$$

$$X = \frac{V_{pcc}^2}{Q}$$

$$X = \frac{220^2}{1028,84} = 47,04 \Omega$$

Untuk induktif murni ($X = X_L$)

$$X = 2 \times \pi \times f \times L \quad (3.21)$$

$$L = \frac{X}{2 \times \pi \times f}$$

$$L = \frac{47,04}{2 \times \pi \times 50} = 149,73 \text{ mH}$$

Untuk kapasitif murni ($X = X_C$)

$$X = \frac{1}{2 \times \pi \times f \times C} \quad (3.22)$$

$$C = \frac{1}{2 \times \pi \times f \times X}$$

$$C = \frac{1}{2 \times \pi \times 50 \times 47,04} = 67,67 \mu F$$

- Perhitungan fenomena overvoltage

$$P_{pv} = 2,5 \times P_{beban} \quad (3.23)$$

$$P_{pv} = 5500 \text{ Watt}$$

$$\cos\phi = 0,65$$

$$S = \frac{P}{\cos\phi} \quad (3.24)$$

$$S = \frac{5500}{0,65} = 8461,54 \text{ VA}$$

$$Q = S \times \sin(\cos^{-1} \phi) \quad (3.25)$$

$$Q = 8461,54 \times \sin(\cos^{-1} 0,65) = 6430,21 \text{ VAR}$$

$$P = \frac{V_{pcc}^2}{R} \quad (3.26)$$

$$R = \frac{V_{pcc}^2}{P}$$

$$R = \frac{220^2}{5500} = 8,8 \Omega$$

$$Q = \frac{V_{pcc}^2}{X} \quad (3.27)$$

$$X = \frac{V_{pcc}^2}{6430,21}$$

$$X = \frac{220^2}{6430,21} = 7,53 \Omega$$

Untuk induktif murni ($X = X_L$)

$$X = 2 \times \pi \times f \times L \quad (3.28)$$

$$L = \frac{X}{2 \times \pi \times f}$$

$$L = \frac{7,53}{2 \times \pi \times 50} = 24 \text{ mH}$$

Untuk kapasitif murni ($X = X_C$)

$$X = \frac{1}{2 \times \pi \times f \times C} \quad (3.29)$$

$$C = \frac{1}{2 \times \pi \times f \times X}$$

$$C = \frac{1}{2 \times \pi \times 50 \times 7,53} = 422,72 \mu F$$

Dengan perhitungan tersebut, nilai R, L dan C untuk $\cos \phi$ 0,65 – 0,9 dapat dihitung dengan hasil seperti tabel (3.1, 3.2 dan 3.3) berikut:

Tabel 3. 1 Nilai RLC untuk fenomena *powermatch* berbagai $\cos \phi$

$\cos \phi$	R (Ohm)	L (mH)	C (uF)
0,65	22	59,87360424	169,0889845
0,7	22	68,61372411	147,5501742
0,75	22	79,37253933	127,5499943
0,8	22	93,33333333	108,4710744
0,85	22	112,9498015	89,63244563
0,9	22	144,5319123	70,04658542

Tabel 3. 2 Nilai RLC untuk fenomena *undervoltage* 2,5x berbagai cosphi

cosphi	R (Ohm)	L (mH)	C (uF)
0,65	8,8	23,9494417	422,7224614
0,7	8,8	27,44548965	368,8754354
0,75	8,8	31,74901573	318,8749859
0,8	8,8	37,33333333	271,177686
0,85	8,8	45,1799206	224,0811141
0,9	8,8	57,81276493	175,1164635

Tabel 3. 3 Nilai RLC untuk fenomena *overvoltage* 2,5x berbagai cosphi

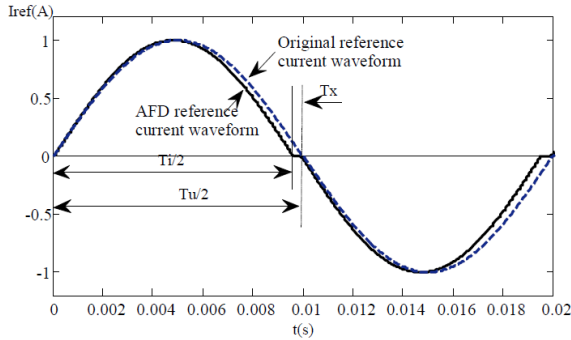
cosphi	R (Ohm)	L (mH)	C (uF)
0,65	55	149,6840106	67,63559382
0,7	55	171,5343103	59,02006966
0,75	55	198,4313483	51,01999774
0,8	55	233,3333333	43,38842975
0,85	55	282,3745038	35,85297825
0,9	55	361,3297808	28,01863417

3.6 Metode Anti-Islanding

3.6.1 Active Frequency Drift

Active frequency drift merupakan salah satu metode aktif deteksi *islanding* dengan cara memberikan injeksi harmonisa yang mengakibatkan terjadinya pergeseran pada arus referensi *inverter* saat *islanding* terjadi[1]. Saat *islanding* terjadi akan muncul eror fasa antara arus *inverter* dan tegangan pada *point common coupling*. Hal ini akan memicu *inverter* untuk menaikkan frekuensi dari arus yang dibangkitkan. Pergeseran frekuensi ini akan terus berlanjut hingga frekuensi pada sistem menyentuh limit deteksi dari *over / under frequency method*.

Metode *active frequency drift* dapat digambarkan secara grafik pada gambar (3.6) berikut[1] [7].



Gambar 3. 6 Dasar dari metode AFD

Dari gambar tersebut metode AFD bergantung pada nilai T_x dimana nilai T_x adalah pergeseran yang terjadi saat injeksi harmonisa diberikan pada arus referensi *inverter* yang dapat ditulis sesuai persamaan (3.34)[7].

$$cf = \frac{T_x}{T_u/2} \quad (3.34)$$

Keterangan:

cf = *Chopping fraction*

T_x = Pergeseran frekuensi

$T_u/2$ = Setengah siklus arus referensi normal

Makin besar nilai *chopping fraction* maka pergeseran frekuensi juga semakin besar. Hal ini akan memberikan efisiensi dan akurasi deteksi *islanding* yang lebih bagus namun harmonisa yang ditimbulkan pada sistem akan besar pula. Secara konvensional, arus *output* dari *inverter* memiliki THD kurang dari 5% yang dapat dituliskan sesuai persamaan (3.35) dengan nilai \emptyset adalah perbedaan sudut fasa pada gelombang fundamental[7].

$$THD = \tan(\emptyset) \quad (3.35)$$

3.6.2 Gabungan Metode Deteksi *Islanding* Berdasarkan Pergeseran Frekuensi Aktif dan Variasi Amplitudo Tegangan

Metode deteksi *islanding* yang akan digunakan pada Tugas Akhir ini adalah gabungan dari metode *active frequency drift* dengan variasi amplitudo tegangan. Variasi amplitudo tegangan disini menggunakan standard jaringan tegangan rendah ($< 1\text{kV}$) dengan nilai $+5\%$ dan -10% . Tujuan dari metode gabungan ini adalah saat metode *active frequency drift* gagal dalam melakukan deteksi sebagai *dominant detection*, maka variasi amplitudo tegangan akan berfungsi sebagai *auxiliary detection*. Metode ini dikhususkan untuk mengurangi nilai *non detection zone* dari metode *active frequency drift* konvensional dimana *active frequency drift* konvensional tidak dapat melakukan deteksi apabila terjadi *powermatch*[1]. Pada kenyataan aktualnya, metode ini digunakan untuk *case* saat terjadi fluktuasi tegangan namun pada beban terjadi resonansi frekuensi yang akhirnya beban bersifat resistif dan tidak terjadi perubahan frekuensi. Atau dapat terjadi saat beban *linear* mempunyai *cosphi* yang sangat baik (≥ 0.85) dimana saat *cosphi* semakin baik maka daya reaktif yang diserap beban juga semakin kecil, dengan semakin kecilnya daya reaktif yang diserap maka saat terjadi *islanding* perbedaan nilai daya reaktif juga semakin kecil sehingga perubahan frekuensi tidak akan signifikan terjadi.

Untuk realisasi metode *active frequency drift* yang akan digunakan dapat ditulis sesuai persamaan (3.36) dan (3.37) dimana f' merupakan nilai frekuensi setelah terjadi *chopping fraction*[1].

$$I_{afd}(t) = I_{inv}(\sin 2\pi f' t) \quad 0 \leq \omega t \leq \pi - T_x \quad (3.36)$$

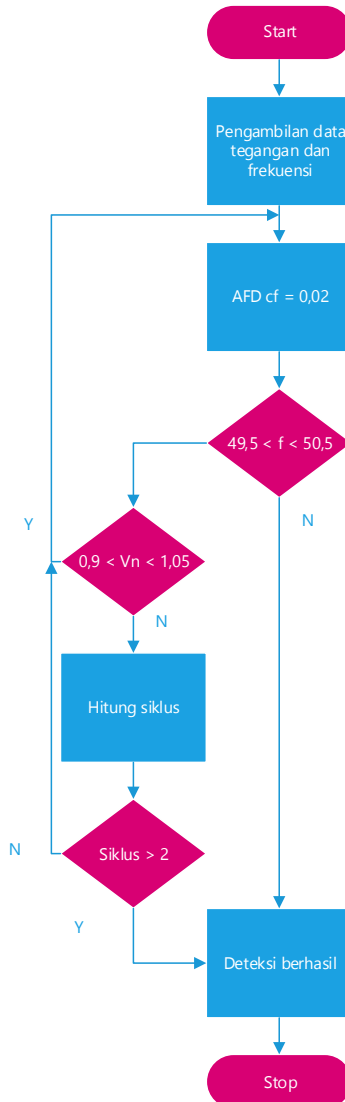
$$I_{afd}(t) = 0 \quad \pi - T_x \leq \omega t \leq \pi$$

$$I_{afd}(t) = I_{inv}(\sin 2\pi f' t) \quad \pi \leq \omega t \leq 2\pi - T_x$$

$$I_{afd}(t) = 0 \quad 2\pi - T_x \leq \omega t \leq 2\pi$$

$$f' = f \left(\frac{1}{1 - cf} \right) \quad (3.37)$$

Untuk melakukan pengambilan data tegangan dan frekuensi pada sistem digunakan pemodelan analogi *zero crossing detector* sehingga tidak merubah kinerja sistem begitu besar dan dapat dilakukan sepanjang waktu simulasi yang dilakukan. Sedangkan untuk meminimalisir harmonisa yang terjadi pada sistem maka nilai *chopping fraction* yang akan digunakan pada Tugas Akhir ini akan bernilai seperti persamaan (3.34). Secara keseluruhan metode ini bekerja dengan dua alur yaitu *dominant detection* yang berupa metode *active frequency drift* dengan rentang $\pm 0,5 \text{ Hz}$ dan $|\Delta f| \geq 0,5 \text{ Hz}$ dan *auxiliary detection* yang berupa variasi amplitudo tegangan dengan range $90\% V_n \leq V_n \leq 105\% V_n$ sesuai dengan *flowchart* pada gambar (3.7).



Gambar 3.7 *Flowchart* alur yang digunakan

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

SIMULASI DAN ANALISIS ISLANDING

Bab ini membahas hasil simulasi dan analisis data dari pemodelan sistem *photovoltaic* yang dihubungkan dengan *grid* menggunakan *linear current control voltage source inverter* sebagai kontrol nilai daya dari *photovoltaic*. Sistem *photovoltaic* juga menggunakan *phase locked loop* yang berfungsi sebagai sinkronisasi frekuensi dari *photovoltaic* dengan *grid*. Berikut adalah *case* simulasi pengujian yang dilakukan dengan variasi beban resistif, induktif dan kapasitif dari beban bernilai $\cos\phi$ 0,65 – 0,9 :

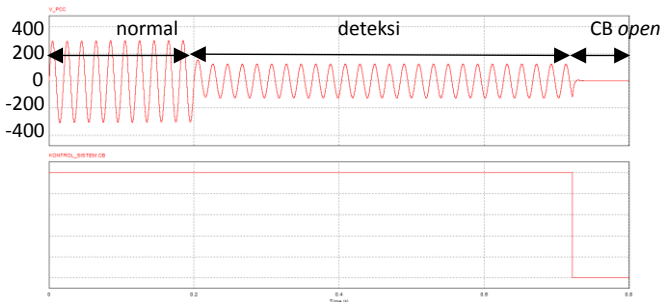
1. Pengujian *islanding* sistem saat daya aktif *photovoltaic* lebih kecil dari daya aktif yang diserap oleh beban.
2. Pengujian *islanding* sistem saat daya aktif *photovoltaic* lebih besar dari daya aktif yang diserap oleh beban.
3. Pengujian *islanding* sistem saat daya aktif *photovoltaic* sama dengan daya aktif yang diserap oleh beban.

Pada simulasi ini *photovoltaic* yang digunakan didesain mempunyai daya 2200 W namun hanya bernilai 203,205 W karena keterbatasan nilai arus yang dapat dibangkitkan oleh *linear current control* bernilai 9,867 A dengan kondisi tidak berbeban dan *grid-connected*. Besarnya beban yang akan digunakan adalah beban yang menyerap daya aktif 2,5 kali lebih besar dan 2,5 kali lebih kecil dengan besar daya reaktif yang diserap tergantung dari nilai $\cos\phi$ masing-masing. Simulasi akan dilakukan selama 0,8 detik dengan pemutusan *grid* pada detik 0,2 dan pemodelan *open CB* selama 0,4 detik.

4.1 Pengujian Beban Resistif

4.1.1 Resistif Undervoltage

Pada simulasi ini nilai parameter beban untuk resistor bernilai 8 Ω , induktor bernilai 57,81 mH dan kapasitor 175,11 μF .

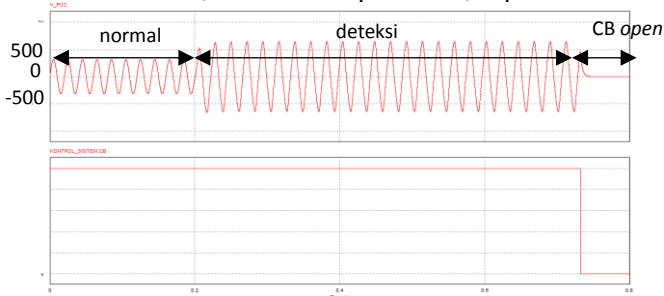


Gambar 4. 1 Hasil simulasi beban resistif *undervoltage*

Dari gambar(4.1) didapat bahwa saat *islanding* tegangan turun menjadi 87,44 V dan frekuensi turun menjadi 49,3 Hz. Hal ini dapat dideteksi dengan menggunakan *flowchart* yang digunakan.

4.1.2 Resistif Overvoltage

Pada simulasi ini nilai parameter beban untuk resistor bernilai 55 Ω , induktor bernilai 361,33 mH dan kapasitor 28,02 μF .

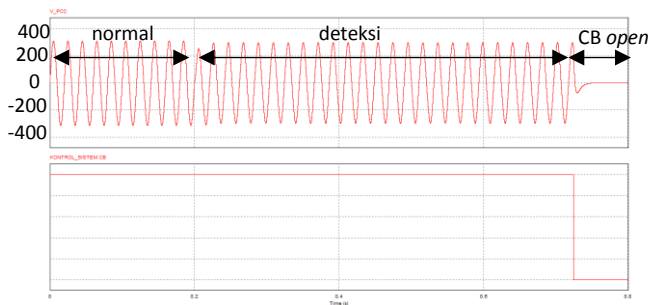


Gambar 4. 2 Hasil simulasi beban resistif *overvoltage*

Dari gambar(4.2) didapat bahwa saat *islanding* tegangan naik menjadi 431,65 V dan frekuensi turun menjadi 45,4 Hz. Hal ini dapat dideteksi dengan menggunakan *flowchart* yang digunakan.

4.1.2 Resistif Powermatch

Pada simulasi ini nilai parameter beban untuk resistor bernilai 22 Ω , induktor bernilai 144,53 mH dan kapasitor 70,05 μF .



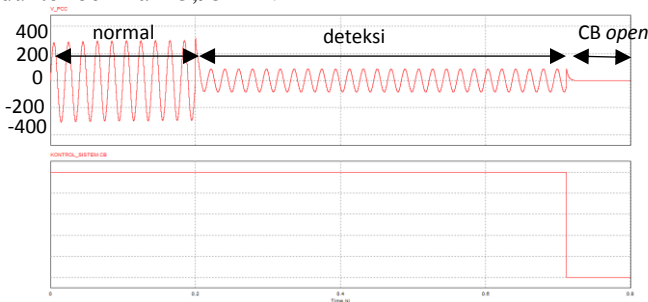
Gambar 4. 3 Hasil simulasi beban resistif *powermatch*

Dari gambar(4.3) didapat bahwa saat *islanding* tegangan turun menjadi 206 V dan frekuensi turun menjadi 48,32 Hz. Hal ini dapat dideteksi dengan menggunakan *flowchart* yang digunakan.

4.2 Pengujian Beban Induktif

4.2.1 Induktif Cosphi 0,65

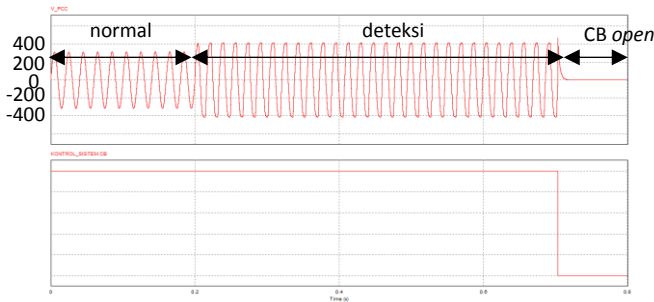
Pada simulasi ini nilai parameter beban untuk resistor bernilai 8 Ω , induktor bernilai 23,95 mH.



Gambar 4. 4 Hasil simulasi beban induktif 0,65 *undervoltage*

Dari gambar (4.4) didapat bahwa saat *islanding* tegangan turun menjadi 59,77 V dan frekuensi naik menjadi 52,36 Hz. Hal ini dapat dideteksi dengan menggunakan *flowchart* yang digunakan.

Selanjutnya untuk fenomena *overvoltage* nilai parameter beban untuk resistor bernilai 55 Ω , induktor bernilai 149,68 mH.

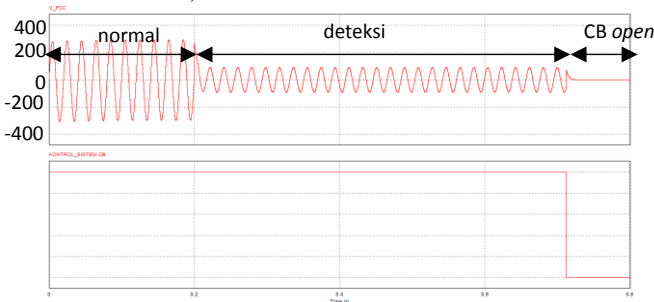


Gambar 4. 5 Hasil simulasi beban induktif 0,65 overvoltage

Dari gambar (4.5) didapat bahwa saat islanding tegangan naik menjadi 323,17 V dan frekuensi naik menjadi 57,5 Hz. Hal ini dapat dideteksi dengan menggunakan *flowchart* yang digunakan.

4.2.1 Induktif Cosphi 0,7

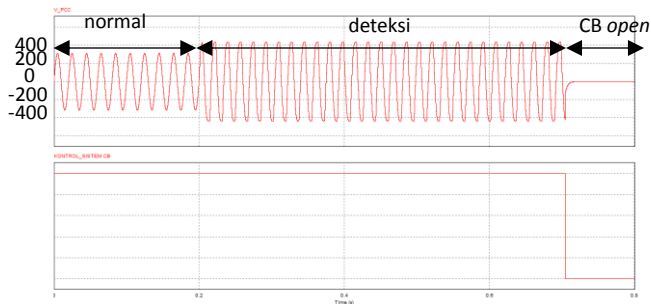
Pada simulasi ini nilai parameter beban untuk resistor bernilai 8 Ω , induktor bernilai 27,45 mH



Gambar 4. 6 Hasil simulasi beban induktif 0,7 undervoltage

Dari gambar (4.6) didapat bahwa saat islanding tegangan turun menjadi 64 V dan frekuensi naik menjadi 52,31 Hz. Hal ini dapat dideteksi dengan menggunakan *flowchart* yang digunakan.

Selanjutnya untuk fenomena *overvoltage* nilai parameter beban untuk resistor bernilai 55 Ω , induktor bernilai 171,53 mH.

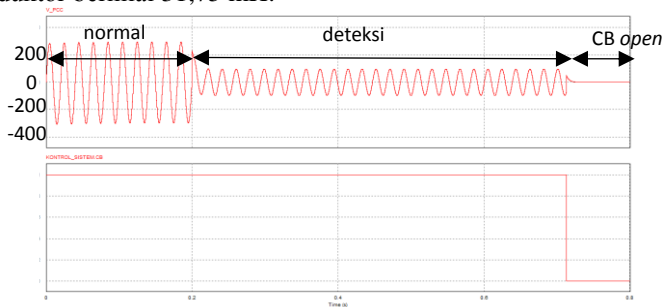


Gambar 4. 7 Hasil simulasi beban induktif 0,7 *overvoltage*

Dari gambar (4.7) didapat bahwa saat islanding tegangan naik menjadi 338,67 V dan frekuensi naik menjadi 56,79 Hz. Hal ini dapat dideteksi dengan menggunakan *flowchart* yang digunakan.

4.2.1 Induktif Cosphi 0,75

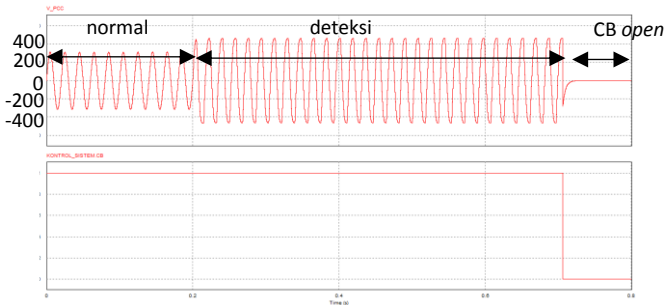
Pada simulasi ini nilai parameter beban untuk resistor bernilai 8 Ω , induktor bernilai 31,75 mH.



Gambar 4. 8 Hasil simulasi beban induktif 0,75 *undervoltage*

Dari gambar (4.8) didapat bahwa saat islanding tegangan turun menjadi 68,09 V dan frekuensi naik menjadi 52,19 Hz. Hal ini dapat dideteksi dengan menggunakan *flowchart* yang digunakan.

Selanjutnya untuk fenomena *overvoltage* nilai parameter beban untuk resistor bernilai 55 Ω , induktor bernilai 198,43 mH.

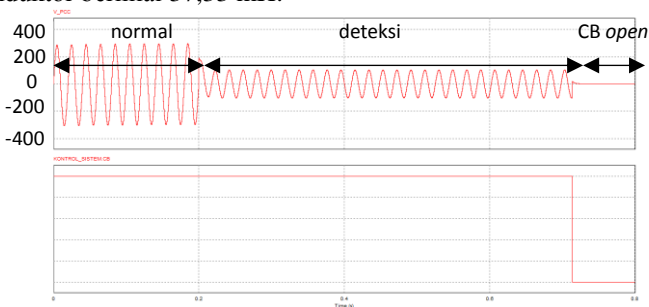


Gambar 4. 9 Hasil simulasi beban induktif 0,75 *overvoltage*

Dari gambar (4.9) didapat bahwa saat islanding tegangan naik menjadi 353,72 V dan frekuensi naik menjadi 56 Hz. Hal ini dapat dideteksi dengan menggunakan *flowchart* yang digunakan.

4.2.1 Induktif Cosphi 0,8

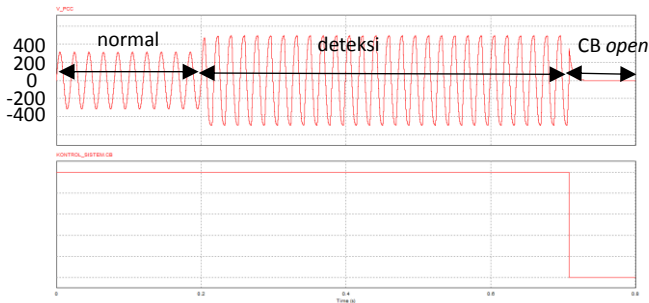
Pada simulasi ini nilai parameter beban untuk resistor bernilai 8 Ω , induktor bernilai 37,33 mH.



Gambar 4. 10 Hasil simulasi beban induktif 0,8 *undervoltage*

Dari gambar (4.10) didapat bahwa saat islanding tegangan turun menjadi 72,09 V dan frekuensi naik menjadi 52,02 Hz. Hal ini dapat dideteksi dengan menggunakan *flowchart* yang digunakan.

Selanjutnya untuk fenomena *overvoltage* nilai parameter beban untuk resistor bernilai 55 Ω , induktor bernilai 233,33 mH.

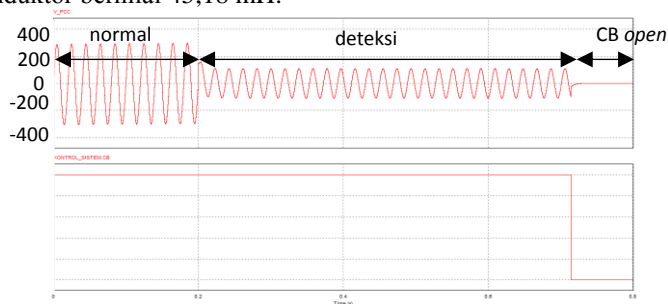


Gambar 4. 11 Hasil simulasi beban induktif 0,8 *overvoltage*

Dari gambar (4.11) didapat bahwa saat islanding tegangan naik menjadi 368,64 V dan frekuensi naik menjadi 55,03 Hz. Hal ini dapat dideteksi dengan menggunakan *flowchart* yang digunakan.

4.2.1 Induktif Cosphi 0,85

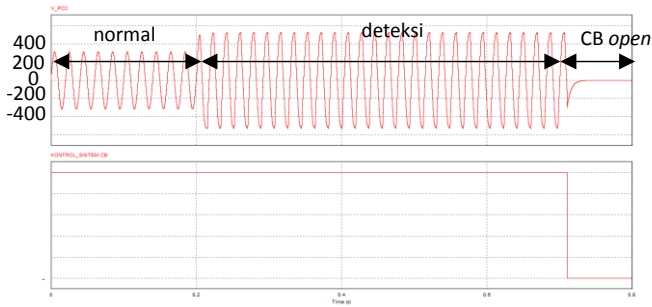
Pada simulasi ini nilai parameter beban untuk resistor bernilai 8 Ω , induktor bernilai 45,18 mH.



Gambar 4. 12 Hasil simulasi beban induktif 0,85 *undervoltage*

Dari gambar (4.12) didapat bahwa saat islanding tegangan turun menjadi 76,02 V dan frekuensi naik menjadi 51,77 Hz. Hal ini dapat dideteksi dengan menggunakan *flowchart* yang digunakan.

Selanjutnya untuk fenomena *overvoltage* nilai parameter beban untuk resistor bernilai 55 Ω , induktor bernilai 282,37 mH.

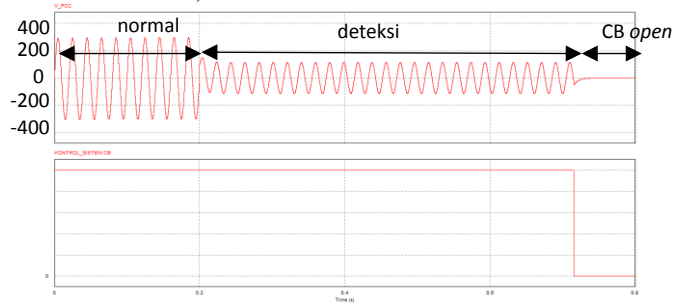


Gambar 4. 13 Hasil simulasi beban induktif 0,85 *overvoltage*

Dari gambar (4.13) didapat bahwa saat islanding tegangan naik menjadi 383,7 V dan frekuensi naik menjadi 53,86 Hz. Hal ini dapat dideteksi dengan menggunakan *flowchart* yang digunakan.

4.2.1 Induktif Cosphi 0,9

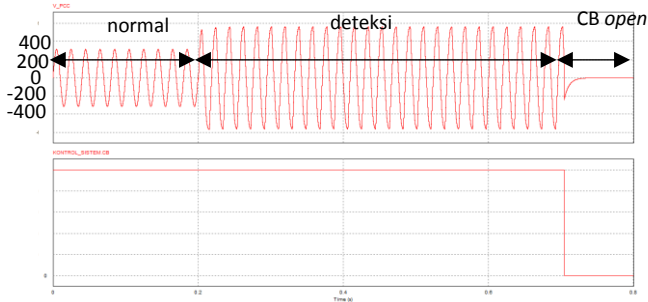
Pada simulasi ini nilai parameter beban untuk resistor bernilai 8 Ω , induktor bernilai 57,81 mH.



Gambar 4. 14 Hasil simulasi beban induktif 0,9 *undervoltage*

Dari gambar (4.14) didapat bahwa saat islanding tegangan turun menjadi 79,9 V dan frekuensi naik menjadi 51,4 Hz. Hal ini dapat dideteksi dengan menggunakan *flowchart* yang digunakan.

Selanjutnya untuk fenomena *overvoltage* nilai parameter beban untuk resistor bernilai 55 Ω , induktor bernilai 361,33 mH.



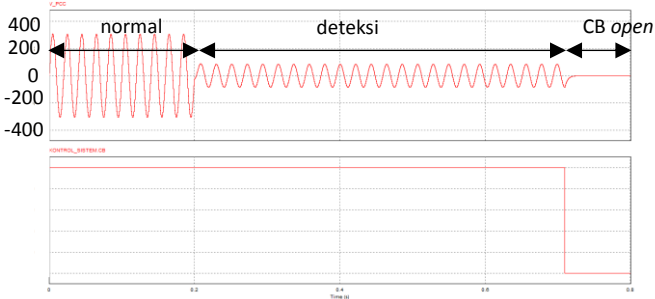
Gambar 4. 15 Hasil simulasi beban induktif 0,9 *overvoltage*

Dari gambar (4.15) didapat bahwa saat islanding tegangan naik menjadi 399,27 V dan frekuensi naik menjadi 52,37 Hz. Hal ini dapat dideteksi dengan menggunakan *flowchart* yang digunakan.

4.2 Pengujian Beban Kapasitif

4.2.1 Kapasitif Cosphi 0,65

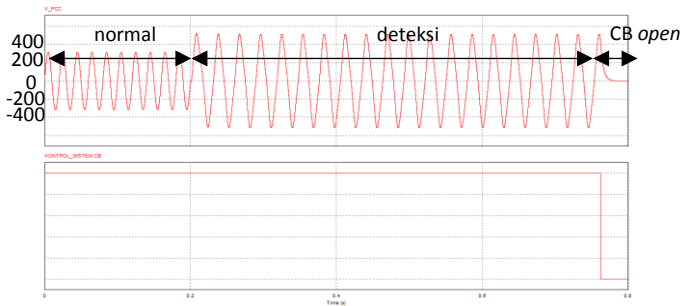
Pada simulasi ini nilai parameter beban untuk resistor bernilai 8 Ω dan kapasitor 422,72 μF .



Gambar 4. 16 Hasil simulasi beban kapasitif 0,65 *undervoltage*

Dari gambar (4.16) didapat bahwa saat islanding tegangan turun menjadi 59,93 V dan frekuensi turun menjadi 46,94 Hz. Hal ini dapat dideteksi dengan menggunakan *flowchart* yang digunakan.

Selanjutnya untuk fenomena *overvoltage* nilai parameter beban untuk resistor bernilai 55 Ω dan kapasitor 67,74 μF .

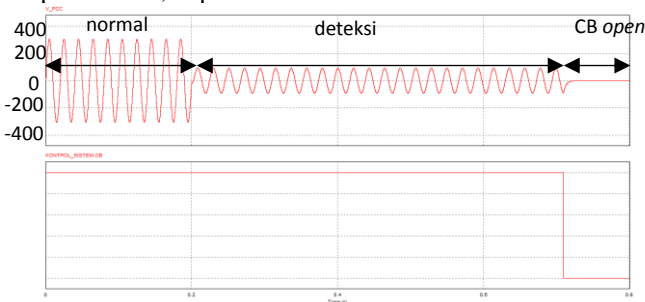


Gambar 4. 17 Hasil simulasi beban kapasitif 0,65 *overvoltage*

Dari gambar (4.17) didapat bahwa saat islanding tegangan naik menjadi 340,16 V dan frekuensi turun menjadi 34,5 Hz. Hal ini dapat dideteksi dengan menggunakan *flowchart* yang digunakan.

4.2.1 Kapasitif Cosphi 0,7

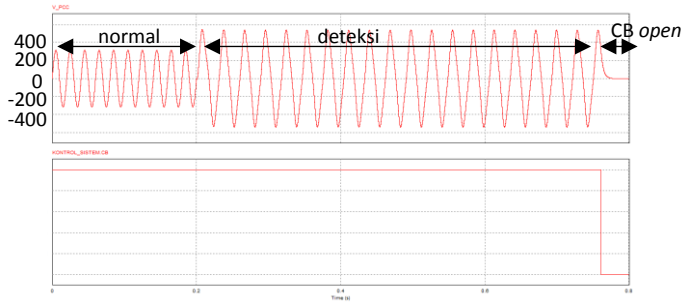
Pada simulasi ini nilai parameter beban untuk resistor bernilai 8 Ω dan kapasitor 368,88 μF .



Gambar 4. 18 Hasil simulasi beban kapasitif 0,7 *undervoltage*

Dari gambar (4.18) didapat bahwa saat islanding tegangan turun menjadi 64,11 V dan frekuensi turun menjadi 46,9 Hz. Hal ini dapat dideteksi dengan menggunakan *flowchart* yang digunakan.

Selanjutnya untuk fenomena *overvoltage* nilai parameter beban untuk resistor bernilai 55 Ω dan kapasitor 59 μF .

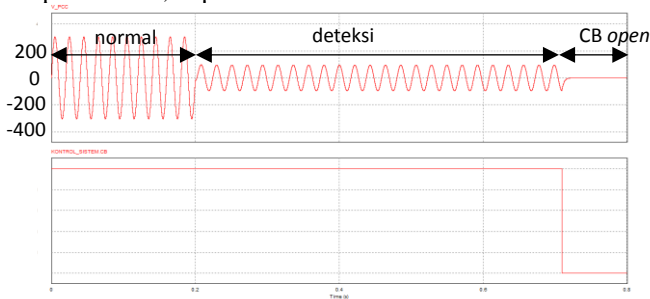


Gambar 4. 19 Hasil simulasi beban kapasitif 0,7 *overvoltage*

Dari gambar (4.19) didapat bahwa saat islanding tegangan naik menjadi 352,52 V dan frekuensi turun menjadi 34,68 Hz. Hal ini dapat dideteksi dengan menggunakan *flowchart* yang digunakan.

4.2.1 Kapasitif Cosphi 0,75

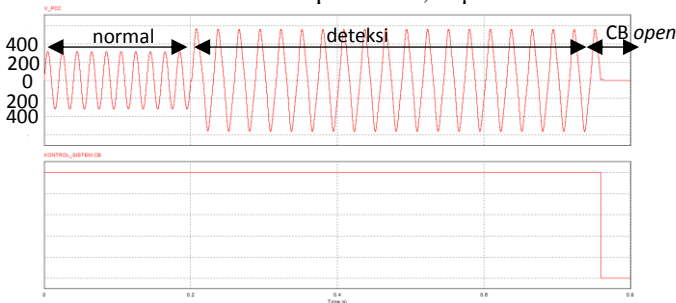
Pada simulasi ini nilai parameter beban untuk resistor bernilai 8 Ω dan kapasitor 318,88 μF .



Gambar 4. 20 Hasil simulasi beban kapasitif 0,75 *undervoltage*

Dari gambar (4.20) didapat bahwa saat islanding tegangan turun menjadi 68,17 V dan frekuensi turun menjadi 47 Hz. Hal ini dapat dideteksi dengan menggunakan *flowchart* yang digunakan.

Selanjutnya untuk fenomena *overvoltage* nilai parameter beban untuk resistor bernilai 55 Ω dan kapasitor 51,02 μF .

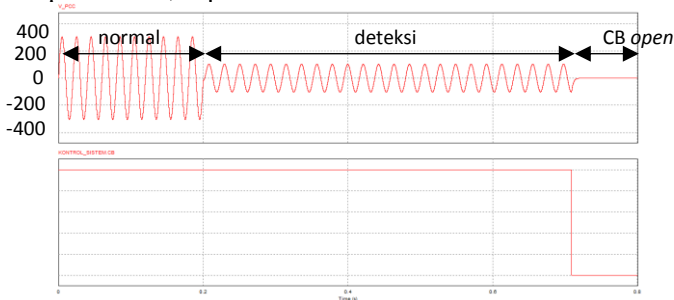


Gambar 4. 21 Hasil simulasi beban kapasitif 0,75 *overvoltage*

Dari gambar (4.21) didapat bahwa saat islanding tegangan naik menjadi 364,37 V dan frekuensi turun menjadi 35 Hz. Hal ini dapat dideteksi dengan menggunakan *flowchart* yang digunakan.

4.2.1 Kapasitif Cosphi 0,8

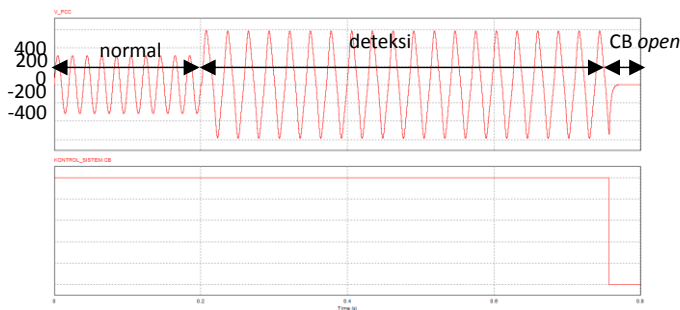
Pada simulasi ini nilai parameter beban untuk resistor bernilai 8 Ω dan kapasitor 271,18 μF .



Gambar 4. 22 Hasil simulasi beban kapasitif 0,8 *undervoltage*

Dari gambar (4.22) didapat bahwa saat islanding tegangan turun menjadi 72,11 V dan frekuensi turun menjadi 47 Hz. Hal ini dapat dideteksi dengan menggunakan *flowchart* yang digunakan.

Selanjutnya untuk fenomena *overvoltage* nilai parameter beban untuk resistor bernilai 55 Ω dan kapasitor 43,4 μF .

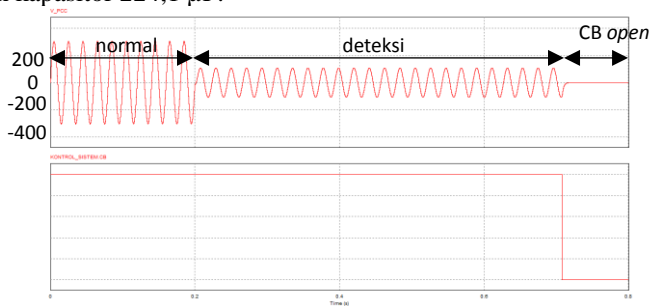


Gambar 4. 23 Hasil simulasi beban kapasitif 0,8 *overvoltage*

Dari gambar (4.23) didapat bahwa saat islanding tegangan naik menjadi 376,14 V dan frekuensi turun menjadi 35,47 Hz. Hal ini dapat dideteksi dengan menggunakan *flowchart* yang digunakan.

4.2.1 Kapasitif Cosphi 0,85

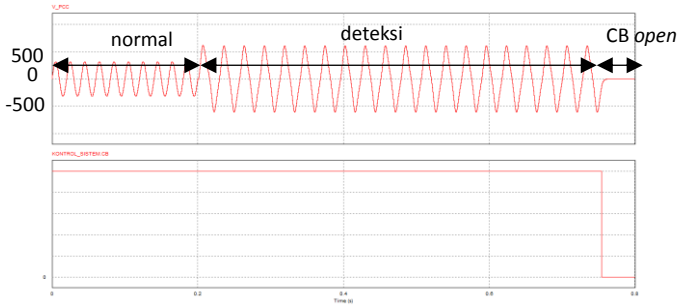
Pada simulasi ini nilai parameter beban untuk resistor bernilai 8 Ω dan kapasitor 224,1 μF .



Gambar 4. 24 Hasil simulasi beban kapasitif 0,85 *undervoltage*

Dari gambar (4.24) didapat bahwa saat islanding tegangan turun menjadi 76 V dan frekuensi turun menjadi 47,11 Hz. Hal ini dapat dideteksi dengan menggunakan *flowchart* yang digunakan.

Selanjutnya untuk fenomena *overvoltage* nilai parameter beban untuk resistor bernilai 55 Ω dan kapasitor 35,85 μF .

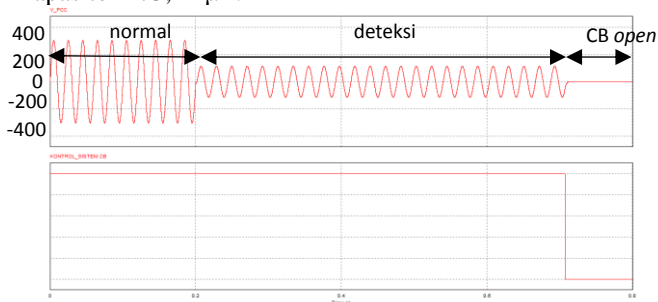


Gambar 4. 25 Hasil simulasi beban kapasitif 0,85 *overvoltage*

Dari gambar (4.25) didapat bahwa saat islanding tegangan naik menjadi 376,14 V dan frekuensi turun menjadi 35,47 Hz. Hal ini dapat dideteksi dengan menggunakan *flowchart* yang digunakan.

4.2.1 Kapasitif Cosphi 0,9

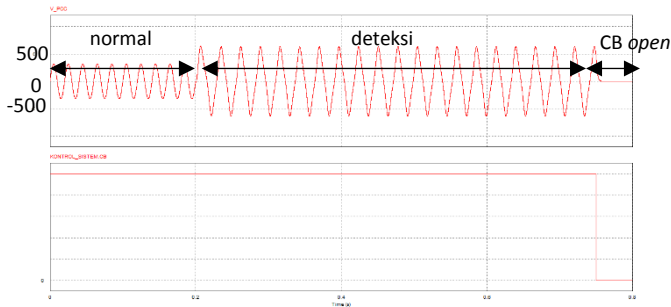
Pada simulasi ini nilai parameter beban untuk resistor bernilai 55 Ω dan kapasitor 175,11 μF .



Gambar 4. 26 Hasil simulasi beban kapasitif 0,9 *undervoltage*

Dari gambar (4.26) didapat bahwa saat islanding tegangan turun menjadi 79,74 V dan frekuensi turun menjadi 47,36 Hz. Hal ini dapat dideteksi dengan menggunakan *flowchart* yang digunakan.

Selanjutnya untuk fenomena *overvoltage* nilai parameter beban untuk resistor bernilai 55 Ω dan kapasitor 28,02 μF .

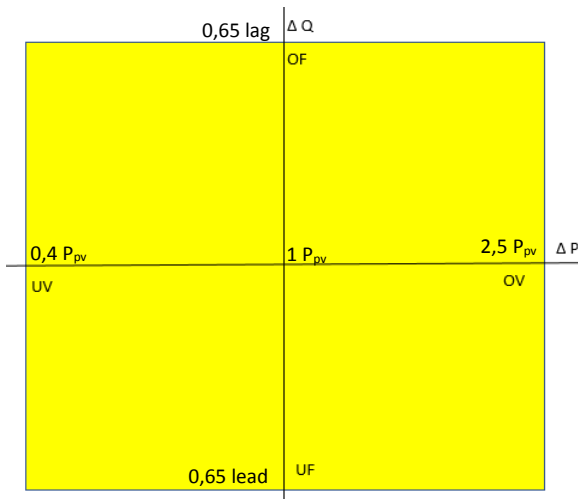


Gambar 4. 27 Hasil simulasi beban kapasitif 0,9 *overvoltage*

Dari gambar (4.27) didapat bahwa saat islanding tegangan naik menjadi 401,11 V dan frekuensi turun menjadi 37,07 Hz. Hal ini dapat dideteksi dengan menggunakan *flowchart* yang digunakan.

4.4 *Detection Zone*

Detection zone merupakan pemodelan hasil dari kemampuan suatu metode deteksi *islanding* yang meliputi *undervoltage*, *overvoltage*, *underfrequency* dan *underfrequency* pada satu kurva yang sama. Dari sub-bab 4.1 – 4.3 maka didapat hasil seperti berikut.



Gambar 4. 28 Hasil *detection zone*

Dari hasil simulasi dan analisa yang telah dilakukan didapat bahwa dengan variasi cosphi beban bernilai 0,65 – 0.9 dengan sifat resistif, induktif dan kapasitif, deteksi tetap dapat dilakukan. Dengan demikian dapat disimpulkan untuk deteksi perubahan frekuensi, rentang hasil *detection zone* yang didapat adalah 0,65 *lagging* – 0,65 *leading* untuk berbagai variasi sifat beban. Sedangkan untuk hasil simulasi dan analisa dari deteksi variasi tegangan yang telah dilakukan didapat bahwa dengan variasi perbandingan nilai dari *photovoltaic* dengan nilai dari beban dengan rentang *overvoltage* 2,5 kali lebih besar dan *undervoltage* 2,5 kali lebih kecil, deteksi dapat dilakukan. Dengan demikian dapat disimpulkan untuk deteksi variasi tegangan, rentang hasil *detection zone* yang didapat adalah 0,4 P_{pv} – 2,5 P_{pv} untuk berbagai variasi sifat beban.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil simulasi dan analisis dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. *Detection zone* yang dihasilkan memiliki rentang deteksi 0,65 lead - 0,65 lag dan $0,4 P_{pv} - 2,5 P_{pv}$.
2. Metode *active frequency drift* yang menjadi deteksi utama pada penelitian ini dapat menutupi kekurangan dari metode *over/under frequency* sederhana.

5.2 Saran

Saran yang diberikan pada penelitian ini adalah:

1. Pada penelitian ini menggunakan pemodelan sistem *photovoltaic* yang hanya dapat *supply* daya aktif dan disarankan untuk selanjutnya untuk menggunakan pemodelan sistem *photovoltaic* yang dapat *VAR support* agar dapat dilakukan perbaikan nilai frekuensi saat *islanding* terjadi.
2. Pada penelitian ini menggunakan batasan masalah untuk nilai iradian matahari selalu 1000 W/m^2 dan disarankan untuk selanjutnya agar menggunakan pemodelan modul *photovoltaic* agar karakteristik hasil yang didapat lebih realistis.
3. Pada penelitian ini mode operasi sistem adalah *grid connected*, oleh karena itu pada penelitian selanjutnya diusulkan untuk sistem yang dapat bekerja pada operasi *grid connected* dan *stand alone*. Pada penelitian selanjutnya dilakukan simulasi *islanded* atau pada saat *grid loss* dari sistem dan beberapa saat kemudian *grid* kembali lagi ke sistem.

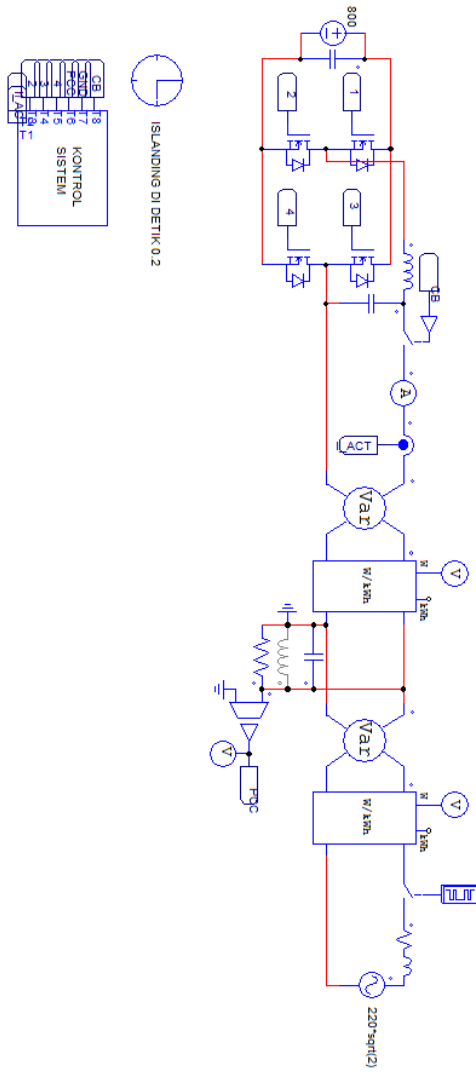
Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. De Mango, M. Liserre, and A. Dell'Aquila, "Overview of anti-islanding algorithms for pv systems part ii: Activemethods," in *Power Electronics and Motion Control Conference, 2006. EPE-PEMC 2006. 12th International*, 2006, pp. 1884–1889.
- [2] F. De Mango, M. Liserre, A. Dell'Aquila, and A. Pigazo, "Overview of anti-islanding algorithms for pv systems part i: Passivemethods," in *Power Electronics and Motion Control Conference, 2006. EPE-PEMC 2006. 12th International*, 2006, pp. 1878–1883.
- [3] Y. Li, M. Hou, H. Feng, and X. Liu, "Composite islanding detection method based on the active frequency drift and voltage amplitude variation," in *2014 IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC)*, 2014, pp. 1–6.
- [4] P. Mahat, Z. Chen, and B. Bak-Jensen, "Review of islanding detection methods for distributed generation," in *Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies, 2008. DRPT 2008. Third International Conference on*, 2008, pp. 2743–2748.
- [5] A. Kahlane, L. Hassaine, and M. Kherchi, "LCL filter design for photovoltaic grid connected systems," *J. Renew. Energ.*, pp. 227–232, 2014.
- [6] K. H. Ahmed, S. J. Finney, and B. W. Williams, "Passive filter design for three-phase inverter interfacing in distributed generation," in *Compatibility in Power Electronics, 2007. CPE'07*, 2007, pp. 1–9.
- [7] M. V. Reis, M. G. Villalva, T. A. Barros, A. B. Moreira, F. P. S. Nascimento, and F. E. Ruppert, "Evaluation of active frequency drift anti-islanding methods with a single-phase grid-tie photovoltaic inverter," in *Control and Modeling for Power Electronics (COMPEL), 2015 IEEE 16th Workshop on*, 2015, pp. 1–7.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN





```

static int cnt;
static int delta;
static int x0;
float v=x2;
static float integral;;
static int cyc;
static float vrms;
static int numv;
static int numf;
static int penanda;
static int penanda_f;
static int y0;
static int penanda_cb;
static long int cnt_cb;
static int peak;

//trigger afd
if(abs(x2)>110*sqrt(2)) peak=2;
    if(peak==2 && abs(x2) <19.53582495)
    {
        y4=0;
        if(abs(x2)<2) peak=1;
    }
else
    y4=x2/(220*sqrt(2));

//deteksi frekuensi tegangan
if(x1>1){
    cnt++;
    integral+=(v*v*delt);
}
else{
    if(x0==1){
        cyc++;
        if(cyc%2==0){
            vrms=sqrt(integral/(2*cnt*delt));
            float frek=1/(2*cnt*delt);
            if(frek>=49.5 && frek<=50.5){
                numf=0;
                if(vrms>=198 && vrms<=231){
                    numv=0;
                }
                else{
                    numv++;
                    if(numv>=2){
                        penanda=1;
                    }
                }
            }
        }
        else{
            numf++;
            if(numf>=6) penanda_f=1;
        }
        cyc=0;
        integral=0;
    }
    delta=cnt;
    cnt=0;
}
else{

```

```

        cnt++;
        integral+=(v*v*delt);
    }
    if(delta!=0){
        y1=1/(2*delta*delt);
    }
    else{
        y1=0;
    }
    y3=vrms;

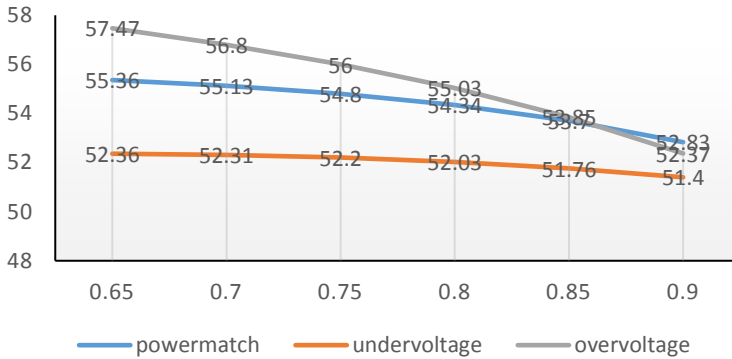
//command cb
if(t<0.02){
    penanda_cb=0;
}
else{
    if(y1>=49.5 && y1<=50.5){
        if(penanda_f==0)penanda_cb=0;
        if(penanda==1) penanda_cb=1;
        if(y0==1) penanda_cb=1;
    }
    else{
        if(penanda_f==1) penanda_cb=1;
        else if(y0==1)penanda_cb=1;
        else penanda_cb=0;
    }
}

y2=1;
if(penanda_cb==1){
    cnt_cb++;
    if(cnt_cb>=400000)y2=0; //delay cb*delt
}

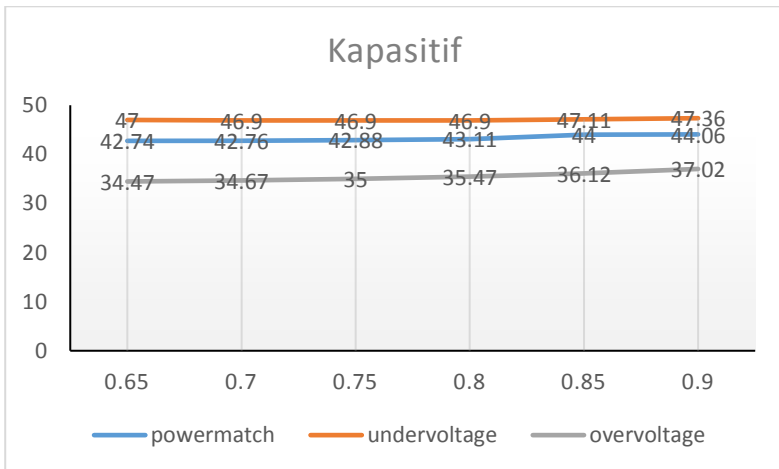
x0=x1;
y0=penanda_cb;

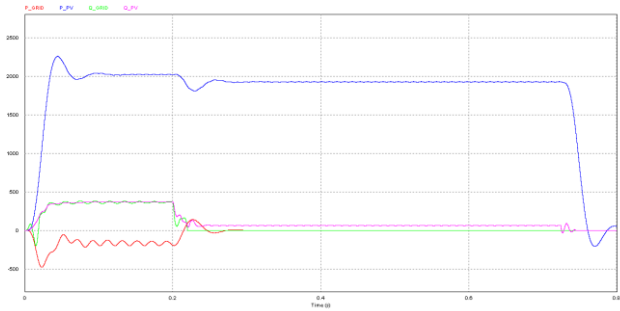
```

Induktif

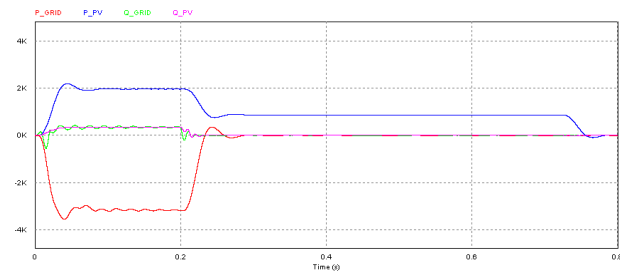


Kapasitif

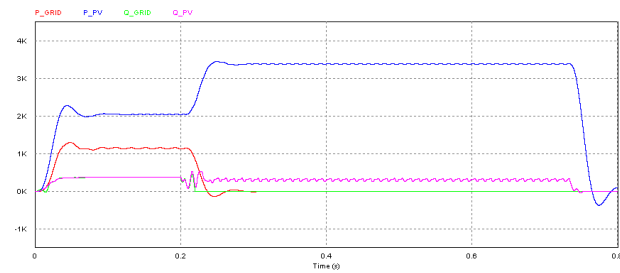




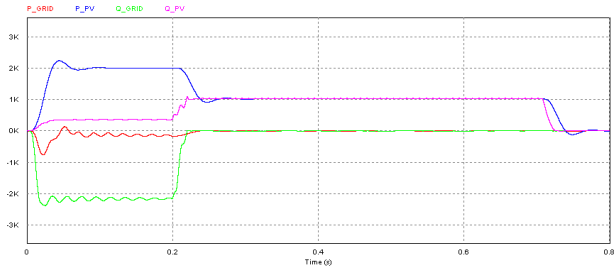
Lampiran 1 Daya resistif powermatch



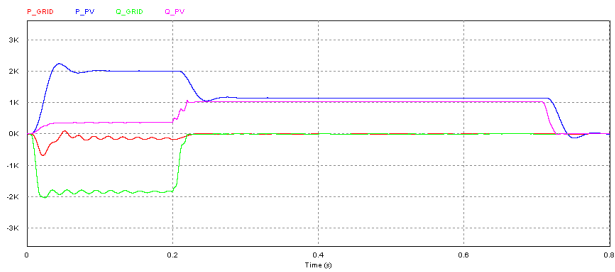
Lampiran 2 Daya resistif undervoltage



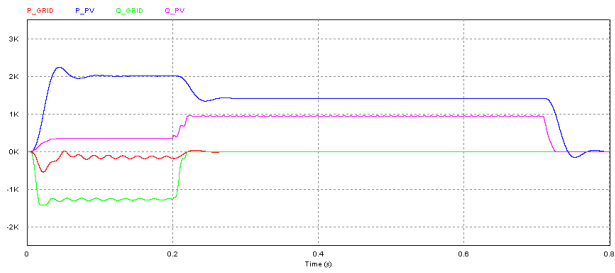
Lampiran 3 Daya resistif overvoltage



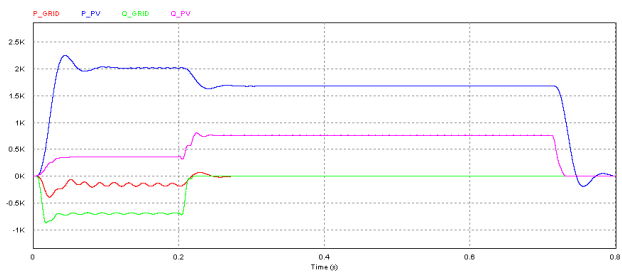
Lampiran 4 Daya induktif powermatch 0,65



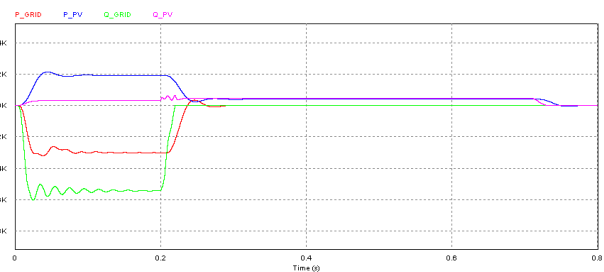
Lampiran 5 Daya induktif powermatch 0,7



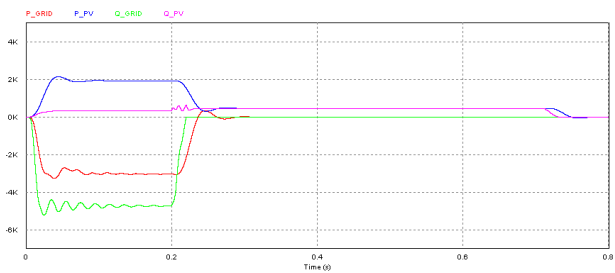
Lampiran 6 Daya induktif powermatch 0,8



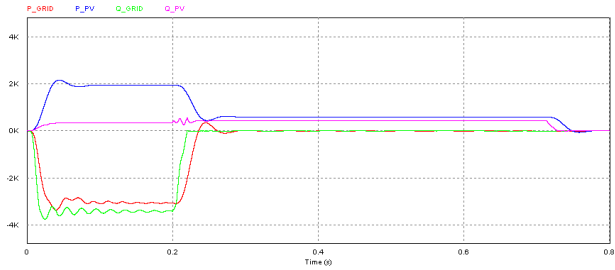
Lampiran 7 Daya induktif powermatch 0,9



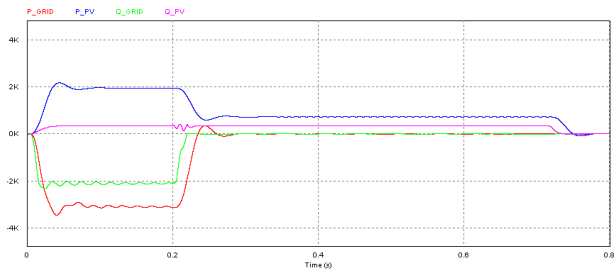
Lampiran 8 Daya induktif undervoltage 0,65



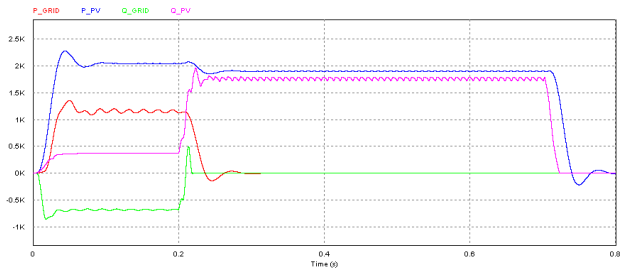
Lampiran 9 Daya induktif undervoltage 0,7



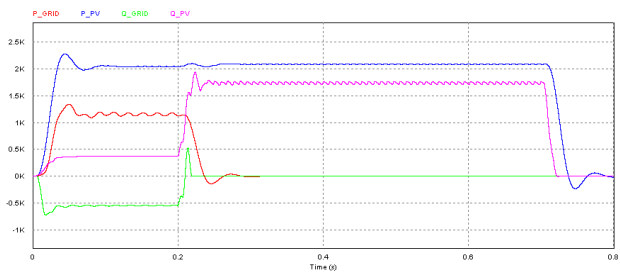
Lampiran 10 Daya induktif undervoltage 0,8



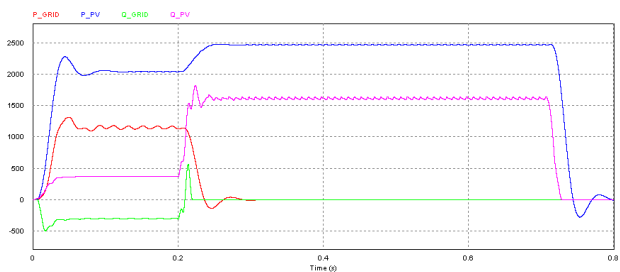
Lampiran 11 Daya induktif undervoltage 0,9



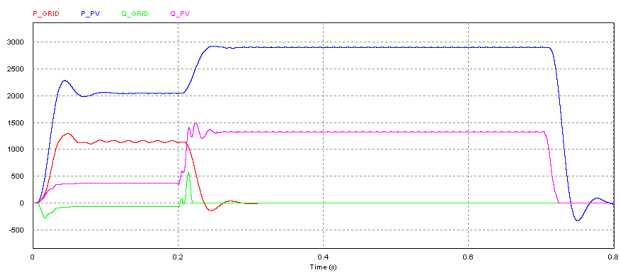
Lampiran 12 Daya induktif overvoltage 0,65



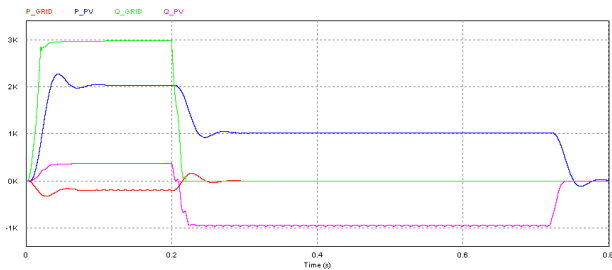
Lampiran 13 Daya induktif overvoltage 0,7



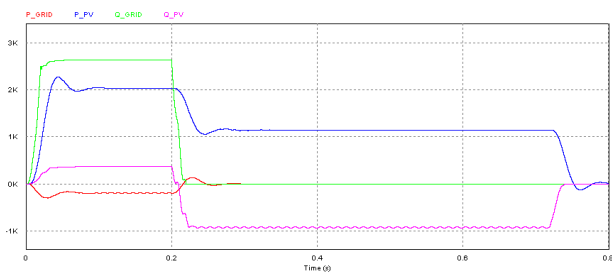
Lampiran 14 Daya induktif overvoltage 0,8



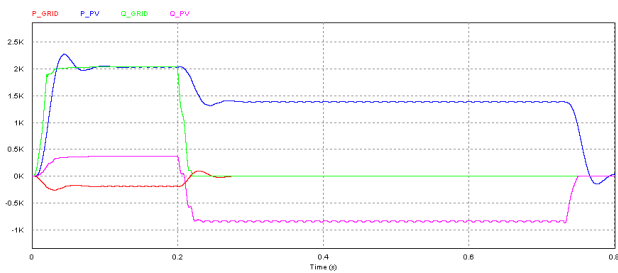
Lampiran 15 Daya induktif overvoltage 0,9



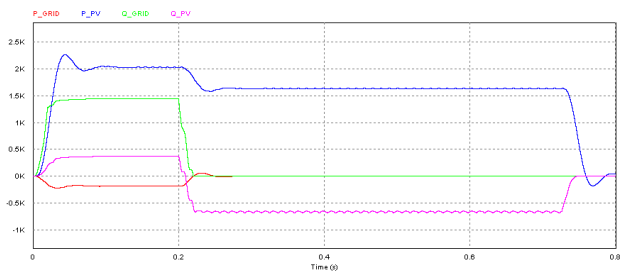
Lampiran 16 Daya kapasitif powermatch 0,65



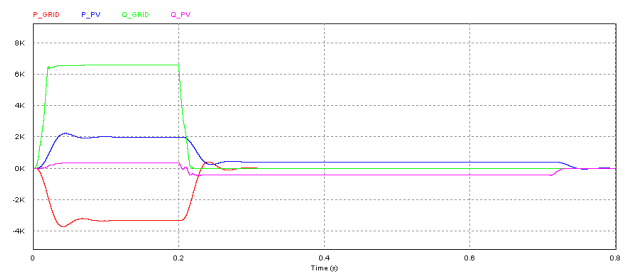
Lampiran 17 Daya kapasitif powermatch 0,7



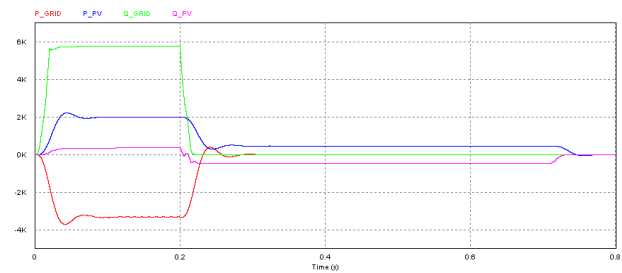
Lampiran 18 Daya kapasitif powermatch 0,8



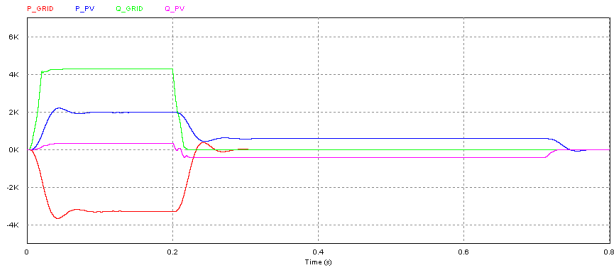
Lampiran 19 Daya kapasitif powermatch 0,9



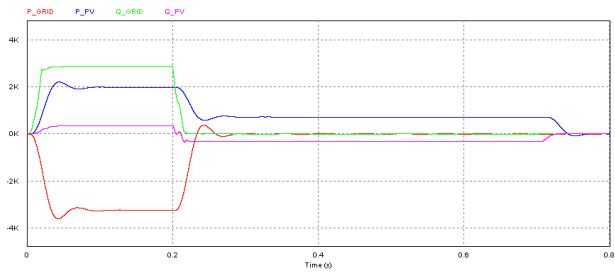
Lampiran 20 Daya kapasitif undervoltage 0,65



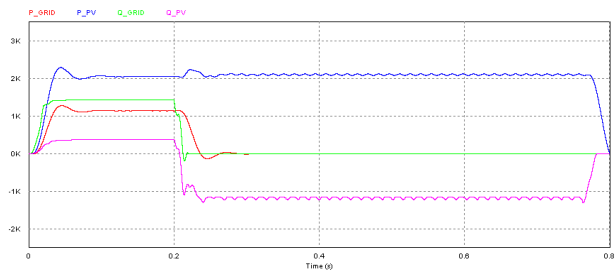
Lampiran 21 Daya kapasitif undervoltage 0,7



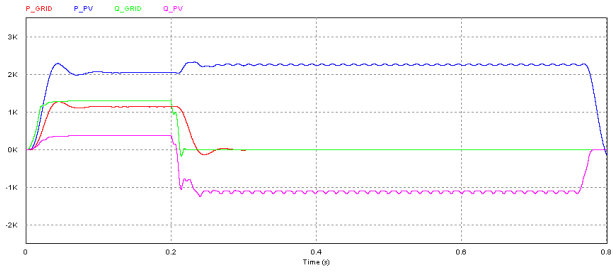
Lampiran 22 Daya kapasitif undervoltage 0,8



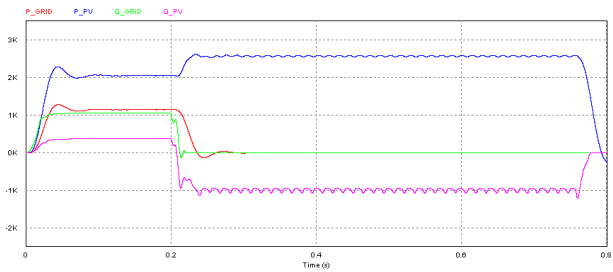
Lampiran 23 Daya kapasitif undervoltage 0,9



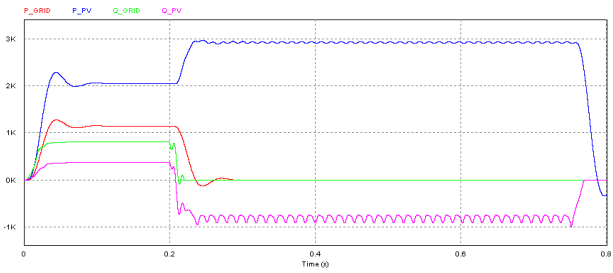
Lampiran 24 Daya kapasitif overvoltage 0,75



Lampiran 25 Daya kapasitif overvoltage 0,7



Lampiran 26 Daya kapasitif overvoltage 0,8



Lampiran 27 Daya kapasitif overvoltage 0,9

RIWAYAT HIDUP



Penulis buku Tugas Akhir dengan judul **“Gabungan Metode Deteksi *Islanding* Berdasarkan Pergeseran Frekuensi Aktif dan Variasi Amplitudo Tegangan Pada Sistem *Photovoltaic* Terhubung Jala-jala”** bernama lengkap Septian Pramuditia Putra lahir di Malang pada tanggal 28 September 1995. Penulis telah menyelesaikan pendidikan tingkat menengah di SMP Negeri 2 Sidoarjo pada tahun 2010, pendidikan tingkat lanjut di

SMA Negeri 1 Sidoarjo pada tahun 2013 dan pendidikan tingkat tinggi bidang Teknik Sistem Tenaga di Departemen Teknik Elektro ITS pada tahun 2017.

Halaman ini sengaja dikosongkan